

**ВВЕДЕНИЕ**

Системы класса MES (Manufacturing Execution System) отвечают за решение задач оперативного управления производством. Они призваны связать воедино технологический и бизнес уровни управления предприятием в единый информационный комплекс. При этом системы класса MES решают множество важнейших для промышленного предприятия задач, которые неоднократно рассматривались в публикациях наших авторов.

В этом году в августовском номере журнала «Автоматизация в промышленности», традиционно в конце лета посвященном теме управления производством, планировалось сделать акцент на задачах планирования и оперативного управления.

В настоящее время перед большинством отечественных и зарубежных производственных предприятий достаточно остро стоит вопрос планирования работ по выпуску готовой продукции и оптимизации складских запасов материалов, сырья и готовой продукции в зависимости от имеющегося спроса и долгосрочных заказов постоянных покупателей.

Методы управления, планирования и оптимизации работ на предприятиях во многих случаях позволяют значительно сокращать сроки выполнения работ и заказов за счет более рационального использования оборудования и тем самым повышать эффективность работы соответствующих производств. Однако различные виды производств

обладают рядом специфических особенностей и в связи с этим для построения планов и расписаний работ на этих заводах необходимо разрабатывать специализированные методы, учитывающие специфику и особенности производства такой продукции.

Данные тезисы получили развитие в работах (авт. М. А. Ермоловой и Е. Н. Хоботова; А. В. Вожакова и др.; А. И. Шабаева и др.; Л. Г. Афраймович и др.).

Следующая группа статей посвящена вопросам сведения материального (авт. М. Ю. Петухов и др.; В. И. Кувыкин) и энергетического (авт. М. Б. Резников) баланса.

Продолжают выпуск статьи, посвященные возможностям современных ИТ-технологий применительно к системам управления производственными активами (авт. Б. А. Кац и А. Ю. Молчанов) и лабораторным информационно-управляющим системам (авт. М. П. Петлина и др.). В работе авт. Г. С. Смирновой и др. представлен «облачный» подход к решению задач уровня MES.

В отдельный подраздел «Опыт использования информационных систем» условно можно вынести описания подготовки, реализации, ввода в эксплуатацию, поддержки и развития системы автоматизированного управления оперативной эксплуатацией производственных систем и оборудования (авт. А. И. Васильев и др.) и горно-геологической информационной системы (авт. В. Б. Мельник).

Редакция выражает благодарность всем авторам раздела за кропотливую работу в ходе подготовки материалов и надеется, что эта деятельность была обоюдополезной и приятной.

СИСТЕМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ И ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ**СИСТЕМА ПЛАНИРОВАНИЯ И ПОСТРОЕНИЯ РАСПИСАНИЙ РАБОТ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ С КОНВЕЙЕРНОЙ СБОРКОЙ ИЗДЕЛИЙ**

М. А. Ермолова (МГТУ им. Н. Э. Баумана), Е. Н. Хоботов (ИПУ РАН)

Рассматриваются модели и методы, а также принципы создания систем планирования и построения расписаний работ для машиностроительных предприятий, на которых производится конвейерная сборка выпускаемой продукции. Основу построения этих моделей и методов составляла идея агрегирования информации. Предложенные методы были запрограммированы и в процессе тестирования показали достаточно высокую эффективность работы.

Ключевые слова: планирование, теория расписаний, конвейерная сборка изделий, алгоритм, методы агрегирования, спрос на продукцию.

Введение

Планирование и построение расписаний работ является основой для рационального использования всех ресурсов предприятия и, как следствие, повышения эффективности его деятельности. В настоящее время разработано большое число методов и моделей планирования и построения расписаний работ [1–3]. Однако подавляющая часть разработанных методов и моделей предназначена для планирования и построения расписаний работ на уровне цехов и производственных участков.

В работе [4] для построения планов и расписаний работ на уровне предприятия был предложен подход, основанный на использовании методов агрегирования информации. Развитие этот подход получил в работах [5–7], где он использовался для определения порядка обработки комплектующих деталей на уровне предприятий, а также порядка сборок комплектующих узлов, агрегатов и выпускаемых изделий.

В работах [5–7] отмечалось, что даже из весьма хороших планов и расписаний работ производственных участков не всегда удается построить удовлетвори-

тельные планы и расписания работ для предприятия. Для создания хороших планов и расписаний работ необходимо правильно выбирать порядок сборки выпускаемой продукции и порядок сборок комплектующих ее узлов и агрегатов.

Однако в указанных работах рассматривались предприятия, на которых сборка выпускаемых изделий производится на сборочных участках и цехах последовательно, и не рассматривались случаи, когда сборка выпускаемой продукции осуществляется на конвейерах, хотя предприятия с такой организацией сборки выпускаемой продукции составляют значительную и весьма важную часть машиностроения. К ним, в частности, относятся практически все автомобильные заводы.

В данной работе рассматриваются принципы создания методов, позволяющих строить планы и расписания работ на уровне предприятий, когда механообработка комплектующих деталей и сборка комплектующих узлов и агрегатов производится в различных цехах и производственных участках предприятия, а сборка выпускаемой продукции осуществляется на конвейерах. Кроме того, в работе рассматривается структура компьютерной системы, позволяющей строить такие планы и расписания.

Постановка задачи

Рассмотрим одну из простейших задач планирования и построения расписаний работ на предприятиях 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 выпускаемых изделий осуществляется на одном конвейере из изготовленных в цехах предприятия, а также закупленных на стороне комплектующих деталей, узлов и агрегатов.

В течение планового периода на конвейере требуется последовательно собрать L типов партий изделий. Размеры партии изделий каждого типа n_l ($l=1, \dots, L$) заданы.

Для сборки l -го изделия ($l=1, \dots, L$) требуется R_r 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. Агрегаты собираются из комплектующих деталей, узлов и менее сложных агрегатов, которые могут собираться как в цехах предприятия, так и закупаться у поставщиков. Для сборки l -го изделия требуется A_r^k агрегатов r -го типа ($r=1, \dots, A_l^k$) и k -го уровня сборки ($k=1, \dots, K$). Уровень сборки агрегата будем определять следующим образом. Если агрегат собирается из комплектующих деталей и узлов, то будем считать, что это агрегат первого уровня сборки. Когда агрегат собирается из комплектующих деталей, узлов и агрегатов первого уровня сборки, то такой агрегат будем называть агрегатом второго уровня сборки и т. д.

Предвидеть – значит управлять.

Б. Паскаль

Предполагается, что сборка узлов и агрегатов в механосборочном цеху производится последовательно, то есть только после завершения сборки всей партии узлов или агрегатов одного типа может начинаться сборка узлов или агрегатов другого типа.

Для всех деталей, входящих в производимые изделия, известны маршруты обработки, в которые входит последовательность участков и оборудования, используемых для обработки детали, значения времени обработки и переналадки всего оборудования, а также состав и число оборудования на каждом участке предприятия. Кроме того, для любой детали известен маршрут сборки, то есть последовательность и продолжительность ее установки в изделие. На конвейере известно число рабочих мест и время установки в каждое изделие комплектующих деталей, узлов и агрегатов на этих местах. Переналадка конвейера с выпуска изделий одного типа на другой требует определенного времени и финансовых затрат.

Будем считать, что время и финансовые затраты на переналадку конвейера зависят только от типа изделий, которые будут выпускаться после переналадки и не зависят от типа изделий, выпускаемых до этого. Будем также считать, что такое же предположение справедливо для любой комплектующей детали, узла и агрегата и любого оборудования, используемого для их изготовления.

В задаче требуется построить план и расписание работ по их выпуску L типов партий изделий, размеры которых n_l ($l=1, \dots, L$) заданы, и соответственно по изготовлению комплектующих их деталей, узлов и агрегатов.

Расписание сборки изделий, обработки комплектующих деталей и сборки узлов для изделий каждого типа требуется построить таким образом, чтобы по возможности сократить общее время выполнения производственной программы по выпуску L типов партий изделий.

Принципы планирования и построения расписаний работ

Сборку изделий, которые собираются на конвейерах, как правило, начинают, когда на каждое рабочее место конвейера будет доставлено одно и то же число комплектов деталей, узлов и агрегатов, из которых будут собираться выпускаемые изделия. Это связано с тем, что при разном числе таких комплектов на различных сборочных местах конвейера или при неполных комплектах будет очень сложно обеспечить ритмичную работу конвейера, организовывать снабжение мест сборки комплектующими деталями, узлами и агрегатами. Кроме того, будет весьма сложно формировать заказы на изготовление или закупки комплектующих для сборки следующих изделий, особенно если сборочных мест на конвейере много.

Следует также отметить, что не всегда имеется возможность изготавливать комплектующие для всего числа изделий l -го типа n_l ($l=1, \dots, L$), которое требуется по плану собрать после соответствующей переналадки конвейера. Это бывает связано с тем, что на предприятиях часто отсутствует возможность хранения большого числа комплектующих в ожидании отправки на сборку. Кроме того, некоторые из обработанных деталей нельзя хранить больше определенного времени без специальной консервации, проведение которой обычно требует дополнительных временных и финансовых затрат. В подобных случаях изготавливается некоторое допустимое число комплектов \bar{n}_l , которое будем называть партией изделий l -го типа, имеющей размер \bar{n}_l . Величина \bar{n}_l обычно $\leq n_l$ ($l=1, \dots, L$), и это число комплектов комплектующих после изготовления передается на конвейер для сборки. Сразу после этого начинается изготовление комплектующих для другой партии изделий, в состав которой могут входить или изделия того же типа, или изделия другого типа. Если в следующую партию входят изделия того же типа, то конвейер не переналаживается. В противном случае необходима переналадка конвейера. Следующая партия может состоять из изделий другого типа только в том случае, когда будет закончена сборка всех изделий, которые должны собираться по плану перед ней.

Изготовление комплектующих деталей, узлов и агрегатов для выпускаемых изделий производится в цехах и производственных участках предприятия. Число комплектующих, а также объемы используемого для их изготовления оборудования могут быть значительными, что приводит к серьезным и не всегда преодолимым затруднениям при попытках построения расписаний изготовления комплектующих с помощью традиционных методов.

В связи с этим для планирования и построения расписаний работ, выполняемых для изготовления комплектующих, в данной статье предлагается использовать идею агрегирования информации. Эта идея состоит в разделении деталей, для которых строится расписание обработки, на группы таким образом, чтобы все детали каждой группы при обработке в одной последовательности проходили бы производственные подразделения предприятия [4]. Сформированные таким образом группы деталей рассматриваются как обобщенные детали, а производственные подразделения предприятия, которые при своей обработке проходят эти группы, рассматриваются как обобщенные станки.

Затем определяется время обработки всех групп деталей на тех производственных подразделениях предприятия, где эти группы обрабатываются, то есть время обработки всех обобщенных деталей в соответствии с заданной технологией на всех используемых обобщенных станках. Для этого могут использоваться как традиционные методы построения расписаний, так и оценочные модели [4, 9].

После определения временных значений возникает традиционная задача теории расписаний, связанная с построением расписания обработки обобщенных деталей на производственном участке, состоящем из обобщенных станков.

Для ее решения также могут быть использованы традиционные методы построения расписаний обработки деталей на станках производственного участка, то есть сформированных групп деталей на производственных участках предприятия, что позволяет получить оценку на время обработки комплектующих деталей на предприятии.

В работе [5] такое расписание названо «каркасным», а использование традиционных методов построения расписаний [1–3] для его построения описывается как возможным, поскольку число обобщенных деталей и станков будет значительно меньше исходного их числа за счет применения описанных выше идей агрегирования и становится приемлемым для этих методов.

«Каркасное» расписание строится для определения порядка изготовления на производственных подразделениях предприятия комплектующих, которые будут использованы для сборки следующей партии изделий. Построение такого расписания производится в соответствии с изложенными выше принципами. Построенное «каркасное» расписание «приклеивается» к уже сформированному «каркасному» расписанию изготовления комплектующих деталей, узлов и агрегатов для ранее изготавливаемых на предприятии изделий.

Алгоритм построения планов и расписаний работ

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

Шаг 1. С учетом спроса определяется число изделий каждого типа, которое следует изготовить в течение планируемого интервала времени.

Шаг 2. Выбирается тип и число изделий, для сборки которых будут изготавливаться комплектующие. Определяются типы и число комплектующих деталей, узлов и агрегатов каждого типа, которые следует изготовить, чтобы обеспечить сборку выбранных изделий.

Шаг 3. Производится разделение по группам комплектующих деталей, которые входят в текущую партию. В каждую группу входят детали, имеющие один и тот же порядок обработки на производственных участках предприятия.

Шаг 4. Определяются значения времени обработки сформированных групп деталей на всех механических участках предприятия.

Шаг 5. Строится «каркасное» расписание обработки комплектующих деталей для всех участков предприятия. Порядок прохождения производственных участков предприятия известен из распределения деталей по группам на Шаге 3.

Шаг 6. По максимальному времени завершения обработки последней группы комплектующих деталей определяется оценка на время, которое потребуется для изготовления комплекта деталей, необходимых для сборки на конвейере следующей партии изделий.

Шаг 7. Производится «приклеивание», состоящее в присоединении полученного «каркасного» расписания к ранее построенному «каркасному» расписанию обработки деталей и узлов на предприятии.

Шаг 8. Производится проверка номера комплекта для сборки изделия. Если комплект является последним для конвейера, следует переход к п. 9. Иначе осуществляется переналадка конвейера на выпуск продукции следующего типа и следует переход к п. 2.

Шаг 9. Формируется отчет с планами и расписаниями работ по выполнению производственной программы.

Программная реализация системы

Для проведения исследований предлагаемых методов и алгоритмов был разработан программный прототип системы построения расписаний работ на уровне всего предприятия. Программный прототип был написан на языке программирования C# и платформе Microsoft .Net Framework 4. Прототип имеет модульную структуру и состоит из следующих модулей: генерации исходных данных, просмотра и редактирования технологической информации, работы с заказами, отображения расписаний, расчета и построения расписаний, диспетчеризации, сбора и обработки статистики, формирования «каркасных» расписаний, формирования отчетов.

Для хранения данных в системе используется документно-ориентированная СУБД MongoDB. К ее преимуществам можно отнести высокую производительность при работе с большими массивами данных, кроссплатформенность и поддержку асинхронных репликаций, позволяющих строить масштабируемую отказоустойчивую систему хранения данных.

В модуле генерации исходных данных осуществляется ввод и генерация данных, необходимых для расчетов. Поскольку число этих данных очень велико, для проведения исследований работы алгоритмов использовалась генерация исходных данных с равномерным распределением при помощи датчика случайных чисел. Пользователем задается число изделий, станков, а также интервалы, в которых находятся величины спроса, производительности конвейеров, значения времени и численность сборочных единиц (рис. 1).

Рис. 1. Генератор исходных данных

Рис. 2. Окно ввода и редактирования информации о составе изделий

Модуль просмотра и редактирования технологической информации позволяет создавать, изменять и удалять изделия, комплектующие детали, входящие в их состав, маршруты обработки этих деталей.

Рис. 3. Окно ввода и редактирования информации о поступивших заказах

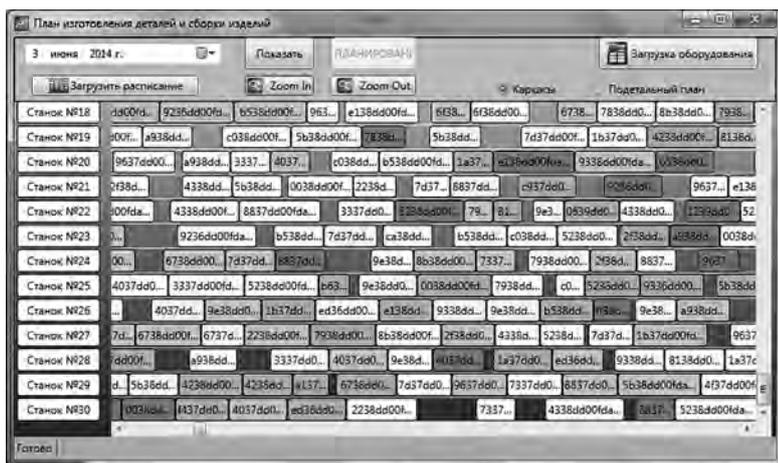


Рис. 4. Окно графического отображения "каркасных" расписаний

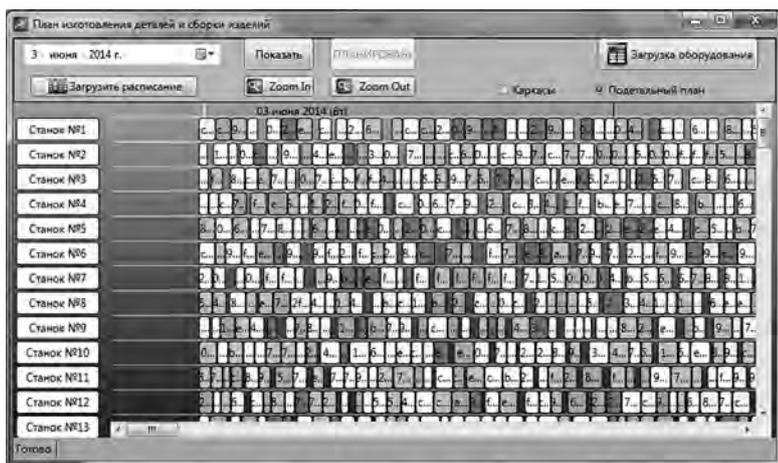


Рис. 5. Окно графического вывода диаграмм Гантта

На рис. 2 приведено окно ввода и редактирования информации об изделии. В верхней части окна в раскрывающемся списке приведены названия изделий. Для выбранного изделия в левой части окна приводится список деталей, входящих в его состав, а в правой — для конкретной детали показывается список маршрутов обработки. В нижней части окна для выбранной детали и маршрута ее обработки показана последовательность операций 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.

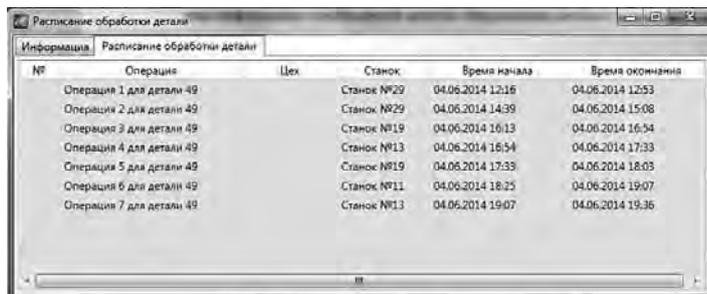
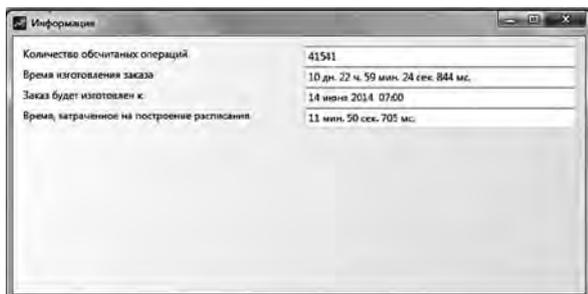


Рис. 6. Окна, представляющие информацию о сроках изготовления изделий и выполнении операций по обработке комплектующих деталей

Модуль работы с заказами позволяет выполнять действия над заказами: создавать, просматривать и редактировать информацию, а также запускать расчет плана для их производства. В левой части окна показывается перечень производимых на предприятии изделий, в правой части пользователю предоставляется возможность ввести название заказа и его описание. В нижней части окна приведены параметры расчета, и кнопка для начала вычислений.

В модуле расчета и построения расписаний реализуется алгоритм, описанный в предыдущем пункте статьи. Его эффективность для планирования и построения расписаний работ для предприятий с конвейерной сборкой изделий была доказана путем проведения вычислительных экспериментов.

Для графического отображения построенных планов работ предназначен Модуль отображения расписаний. Кроме укрупненных каркасных «расписаний» пользователю также доступна информация о конкретной детали и расписание ее обработки. На рис. 4 приведено окно для графического вывода диаграмм Гантта, отображающих «каркасные» расписания изготовления заказов, а на рис. 5 — расписания обработки деталей, комплектующих изделия, включенные в заказ, на оборудовании предприятия.

Модуль формирования отчетов предназначен для формирования и представления пользователю информации, полученной в результате построения расписания работ на предприятии. В нем приводятся данные о сроках изготовления каждого изделия заказа, времени начала и окончания операций по обработке комплектующих деталей на всем используемом оборудовании. В окне на рис. 6 слева приводится информация 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.

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 3 Гб оперативной памяти, работающем на двухядерном процессоре AMD Turion X2 Ultra Dual-Core Mobile ZM-82, имеющим тактовую частоту 2,2 ГГц.

Например, для решения задачи с 70 станками в 7 цехах и с 6 сборочными участками, 30 изделиями со спросом 3...10 изд./сут., с общим числом деталей 91556 ед., техпроцесс обработки которых состоял из 5...10 операций, потребовалось около 35 мин.

Список литературы

1. Bruker P. Scheduling Algorithms. Leipzig: Springer. 2007. 371 p.
2. Конвей Р.В., Максвелл В.А., Миллер Л.В. Теория расписаний. М.: Наука. 1975. 360 с.
3. Зак Ю.А. Прикладные задачи теории расписаний и маршрутизации перевозок. М.: Книжный дом «Либроком». 2011.
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. Агрегирование при планировании работ на машиностроительных предприятиях // Теория и системы управления. 2013. № 5. С. 132-144.
6. 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. 100-109 стр.
7. Хоботов Е.Н. Задачи и методы управления многоменклатурными запасами в условиях производства продукции // Известия РАН. Теория и системы управления. 2011. № 6. С. 221-232.
8. Куняев М.С., Фирсов А.С., Хоботов Е.Н. Об одном подходе к построению системы планирования работ на машиностроительном предприятии // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия «Машиностроение». 2009. № 4. С. 91-102.
9. Хоботов Е.Н. Использование оптимизационно-имитационного подхода для решения задач планирования и выбора маршрутов обработки. Ч. I, II // АиТ. 1996. № 1, 2.

*Ермолова Мария Алексеевна – аспирант МГТУ им. Н.Э. Баумана, Хоботов Евгений Николаевич – вед. науч. сотрудник ИПУ РАН, проф. МГТУ им. Н.Э. Баумана.
E-mail: e_khobotov@mail.ru
Контактный телефон (495) 430-91-68.*

АЛГОРИТМ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ НА БАЗЕ СИТУАЦИОННОГО ЦЕНТРА ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ¹

А.В. Вожаков (ОАО «Мотовилихинские заводы»)

М.Б. Гитман, В.Ю. Столбов

(Пермский национальный исследовательский политехнический университет)

Рассматривается проблема поддержки принятия коллективных решений при возникающих на предприятии сложных ситуациях, связанных с планированием и производством продукции. Показано, что эффективным инструментом реализации механизма коллективного принятия решений может быть ситуационный центр предприятия. Предложена концептуальная модель ситуационного центра, позволяющая осуществлять процесс согласования управленческих решений. Представлен возможный алгоритм принятия решений.

Ключевые слова: производственная система, механизмы управления, ситуационная задача, ситуационный центр, алгоритм принятия решений.

Введение

Управление производственными системами как частным случаем социально-технических систем [1] связано со значительными сложностями, вызванными неполнотой информации, конфликтами интересов и целей, быстрыми и многочисленными изменениями в окружающей среде промышленного предприятия. Кроме того, резко возрастают требования к гибкости производства и к оперативности принятия управленческих решений, что в свою очередь обуславливает необходимость интеллектуализации и информатизации процессов управления. Для пре-

одоления этих сложностей должны быть разработаны соответствующие эффективные механизмы и инструменты поддержки принятия решений на всех уровнях иерархии управления предприятием [2].

Качество принимаемых менеджерами решений в значительной степени определяет эффективность функционирования любой организации, в том числе производственной системы. Повысить качество управленческих решений позволяет механизм коллективного принятия решений [3]. Реализация этого механизма требует разработки соответствующих инструментов, одним из которых может быть си-

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (договор № 02.G25.31.0068 от 23.05.2013 г. в составе мероприятия по реализации постановления Правительства РФ № 218).