

## ОПЕРАТИВНАЯ КОРРЕКТИРОВКА ПЛАНОВ МЕЛКОСЕРИЙНОГО И ЕДИНИЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕХАНИЗМА ДИСПЕТЧИРОВАНИЯ

В.Е. Лелюхин, О.В. Колесникова, Т.А. Кузьмина (Дальневосточный федеральный университет)

Показано, что в мелкосерийном и единичном дискретном производстве при возникновении отклонений от плана серьезной проблемой является «переориентация» комплексной производственной структуры изделия в пространстве планирования. Для этого требуются кардинальные изменения всей структуры плана, что практически приводит к необходимости полного переформирования расписания для каждого рабочего места.

Представлен подход, предусматривающий оперативную ежедневную корректировку общего производственного плана с использованием текущей информации об отклонениях фактического состояния производства от плановых параметров. Предложены схемы оперативной корректировки плана производства для локальных участков и цехов без нарушения структурной его целостности. Изложенный подход имеет практическую реализацию.

Ключевые слова: машиностроение, управление производством, модель управления, интегрированный план, мелкосерийное производство, диспетчирование, MES, APS системы.

### Введение

В условиях изменяемой рыночной среды целевая задача любого предприятия заключается в необходимости в кратчайшие сроки удовлетворить требования потребителя для получения прибыли [1].

С точки зрения управления машиностроительное производство представляет собой сложную систему, содержащую некоторый набор подсистем, выполняющих разнообразные функции. Для управления такой структурой необходимо выработать определенные правила и принципы, позволяющие гарантированно получить эффективный результат.

Тенденции развития современного рынка направлены в сторону индивидуализации производимой продукции. С учетом технологической сложности и разноплановости производственных процессов в машиностроении актуальность поиска и практического использования эффективных методов организации выполнения заказов особенно актуальна для предприятий с мелкосерийным и единичным характером производства.

### Модель управления производством

Рассмотрим модель сквозного позаказного планирования любого выпускаемого изделия с последующей оперативной корректировкой (регулированием) плана на рабочих местах или отдельных производственных участках при возникновении рассогласований. Иными словами, для каждого поступающего заказа первоначально выполняется глобальное производственное планирование (составление расписания для выполнения каждой детали-операции) изготовления изделий с учетом реальной загрузки оборудования (рабочих мест). Затем при возникновении различного рода отклонений осуществляется оперативная корректировка исходного плана путем «встраивания» в общую схему невыполненных в плановом порядке технологических детали-операций.

Схематично структуру указанной модели можно представить как взаимодействие устройства управления (УУ) и объекта управ-

ления (ОУ) (рис. 1) [2]. Здесь устройство управления представляет собой совокупность подразделений (элементов), результатом деятельности которых является план организации производственного процесса. Объектом управления является производство, задача которого заключается в реализации элементов технологических процессов (детале-операций) в соответствии с параметрами, регламентированными планом.

Поток входной информации  $X(t)$  представляет собой совокупность заказов покупателей на изготовление продукции. На основании сведений о заказах, а также конструкторско-технологической информации о составе изготавливаемых изделий и полного описания технологических операций изготовления каждой детали-сборочной единицы с учетом организационных производственных регламентов формируется управляющее воздействие.

Устройство управления (на предприятии — планирующий орган) передает объекту управления (производству) управляющее воздействие в виде плана  $P(R, T, O)$ , где  $R$  — рабочие места,  $T$  — время занятости рабочего места,  $O$  — технологические операции. По сути, такой план представляет собой «программу» действий производственных подразделений (цехов и участков), результатом которых должен стать поток продукции  $Y(t)$  на выходе [3].

Формирование плана осуществляется на основе структурно-параметрической модели, в виде структу-

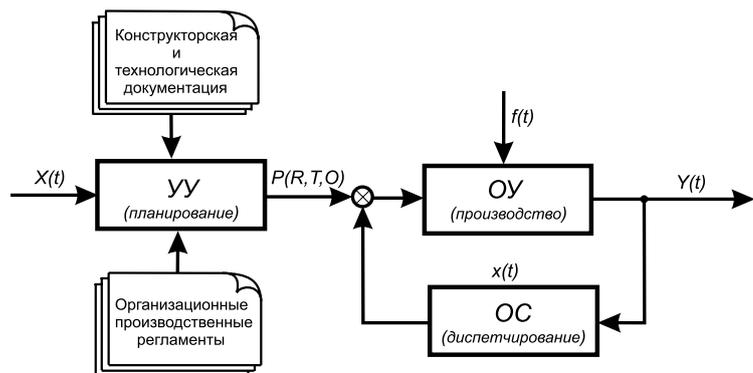


Рис. 1. Структурная схема модели управления производством

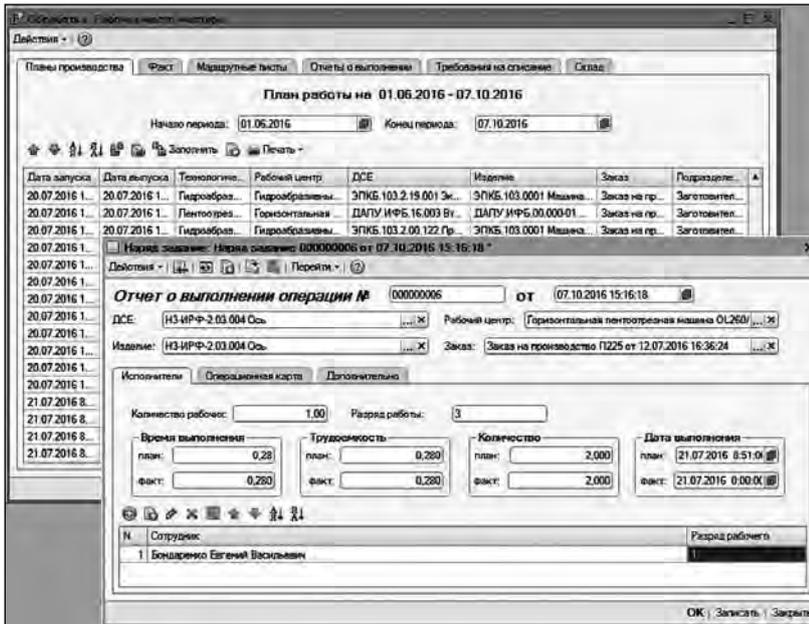


Рис. 2. Экранные формы для ввода и отображения фактической информации о состоянии производственного плана

ры отношений связывающей элементы (детале-операции) в дискретном параметрическом пространстве, описывающем рабочие места  $R$  и их состояние в любой момент времени  $t$ .

Подробнее формирование производственного плана рассматривалось в [4]. Указывалось, что основой плана является конструкторско-технологическая информация о составе, структуре изделия и бизнес-процессах изготовления всех его элементов. Также отмечалось, что при формировании плана необходимо учитывать текущую загрузку рабочих мест. Эта информация особенно важна при формировании производственного плана для предприятий с мелкосерийным и единичным характером.

**Отклонения от производственного плана**

Как правило, в организованном производстве основной поток детали-операций выполняется в соответствии с плановыми регламентами. Однако в реальных условиях существует целый комплекс внешних и внутренних факторов (непрогнозируемые отказы оборудования, поломки инструментов, выход из строя оснастки и т.д.), вызывающих нарушение регламентируемого хода выполнения производственного процесса [3]. На рис. 1 такие воздействия на объект управления обозначены  $f(t)$ .

В результате воздействия различных факторов возникают отклонения в фактическом выполнении плановых заданий. При этом возможно как раннее выполнение плановых заданий, так и их задержка. Причинами раннего выполнения могут быть использование дополнительного времени (например, работы в вечернее время после окончания смены), несоблюдение технологии изготовления и др. Причинами позднего выполнения или не выполнения заданий можно назвать вы-

ход из строя оборудования, изготовление бракованной продукции, несоблюдение технологии изготовления и др.

По некоторым оценкам, полученным на ряде машиностроительных и приборостроительных предприятий, при наличии четкого поддетального плана число невыполненных плановых детали-операций в среднем держится в пределах 0...3,5%, но в некоторых случаях может достигать значительных величин 10...12% от сменного-суточных объемов работ.

Вне зависимости от причин возникновения отклонений появляется необходимость корректировки планов-графиков производства. Одним из подходов к предотвращению и ликвидации отклонений является перепланирование. Для выполнения операций перепланирования на современных предприятиях используются системы уровня MES, которые позволяют формировать локальные планы в пределах одного цеха или участка, как правило, в пределах смены или суток. MES, получая план-график производства от APS- или ERP-системы, оптимизирует его в соответствии с текущим состоянием производственных ресурсов и заданными критериями. Учитывая небольшой временной интервал и локализацию производства, на которых работают MES, перепланирование выполняется достаточно быстро [5, 6].

Однако, если вести речь об общем поддетальном плане всего производства, включая объединенную производственную структуру (все цеха и участки), то процедура перепланирования не кажется безобидной. Например, даже для небольшого машиностроительного предприятия с мелкосерийным или единичным характером и с ежемесячным объемом производства свыше 10 тыс. детали-сборочных единиц (ДСЕ) необходимо выполнить 50 тыс. ... 100 тыс. детали-операций. Учитывая, что число рабочих мест на таком предприятии колеблется в диапазоне 100...200 ед., для формирования плана требуется распределить весь объем детали-операций по соответствующим рабочим местам. При этом необходимо обеспечить ряд условий: каждая технологическая операция может выполняться только на строго определенных рабочих местах; на одном рабочем месте в каждый момент времени может выполняться только одна технологическая операция; время начала выполнения текущей операции определяется с учетом отношений предшествования (в соответствии с производственной структурой). Иными словами, сборочная единица не может быть изготовлена раньше, чем все детали и другие сборочные единицы, входящие в нее [7].

Подобные задачи, учитывая их большую размерность и сложность решения в аналитическом виде, относятся к классу NP-трудных задач и требуют значительных вычислительных ресурсов и затрат вре-

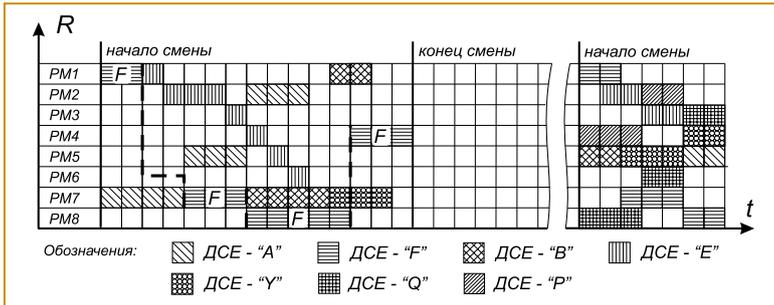


Рис. 3. Фрагмент производственного плана

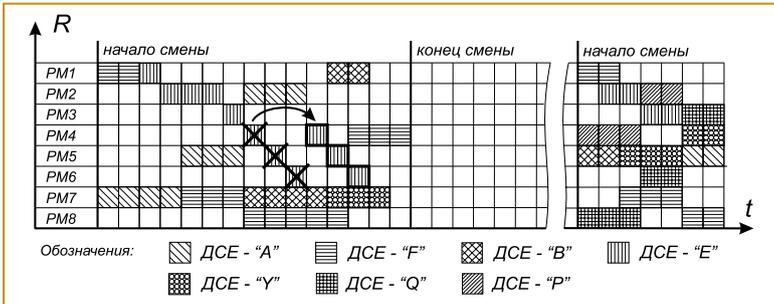


Рис. 4. Корректировка производственного плана в пределах рабочей смены

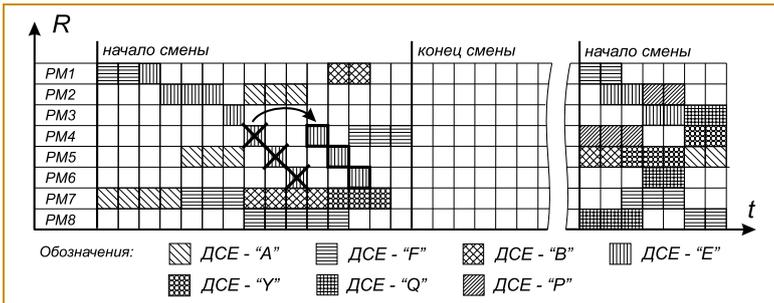


Рис. 5. Корректировка производственного плана за пределами рабочей смены

мени, многократно превышающих время необходимое для принятия оперативных решений.

Кроме того, переформирование плана может привести к изменению сроков выполнения заказа, проблемам с поставками материалов и комплектующих, переналадками оборудования, что негативно отразится на процессе производства и выполнении обязательств перед заказчиком [3].

Следовательно, необходимо найти альтернативные пути решения задачи оперативной корректировки существующих производственных планов, удовлетворяющих как структурным, так и временным требованиям. Для этого первоначально необходимо выявить отклонения в выполнении плана для каждой конкретной ДСЕ.

**Учет фактического выполнения плана**

Организация учета фактического выполнения плана производства позволяет собрать информацию о реакции системы на управляющее воздействие. Реакция системы в данном случае выражается в выполнении или не выполнении технологических операций на каждом рабочем месте, определенных планом-графиком про-

изводства. На рис. 2 показаны экранные формы для ввода и отображения фактической информации о состоянии производственного плана, разработанные и используемые на производственном предприятии ОАО «Дальрыбтехцентр».

Бизнес-процесс учета фактического выполнения плана представляется в виде последовательно выполняемых процедур:

- формирование мастером наряда-задания для каждого рабочего места на основании общего плана производства;
- выдача рабочему наряда-задания на выполнение операции;
- выполнение рабочим соответствующей наряду операции;
- формирование отчета о выполнении операции.

Сформированный отчет содержит фактические значения трудоемкости, число выполненных детали-операций, дату и время выполнения работ, а также сведения об исполнителе.

Полученная информация в первую очередь используется для выявления отклонений фактического состояния производственного процесса от запланированного в любой момент времени. Кроме того, эти сведения могут использоваться для учета фактической трудоемкости изготовления изделия, расчета заработной платы рабочих по сдельной форме оплаты труда, расчета фактической себестоимости изготовления изделия.

**Оперативное управление отклонениями от плана**

В качестве механизма управления с целью актуализации (поддержания в корректном рабочем виде) производственного плана предлагается осуществлять оперативную корректировку общего производственного плана мастерами (руководителями) на локальных производственных участках в момент обнаружения отклонений.

На рис. 3 показан фрагмент производственного плана. Здесь по вертикальной оси расположены рабочие места  $R$  ( $PM1, PM2, \dots, PM8$ ), а горизонтальная ось характеризует время  $t$ , которое для упрощения восприятия разделено на равные дискретные промежутки. Заштрихованные зоны на каждой горизонтальной строке (рабочее место) обозначают, что для данного промежутка времени запланировано выполнение детали-операции для изготовления ДСЕ с соответствующей штриховкой. Число заштрихованных клеток определяет длительность выполнения операции, а отсутствие штриховки свидетельствует о занятости рабочего места.

Как можно заметить, на рис. 3 в графике рабочей смены имеется достаточно много свободных клеток, означающих незанятость рабочих мест. Это обуслов-

лено тем, что на рассматриваемых предприятиях выпускаются изделия, имеющие значительное конструктивное разнообразие.

Существенное влияние на коэффициент загрузки оказывает производственная структура изделия, которая определяется как структурой изделия в целом, так и структурой отдельных технологических процессов [7]. Например, несмотря на незанятость рабочего места *PM4* в первой половине рабочей смены, невозможно выполнять обработку детали *F*, так как перед этим должны быть выполнены операции на рабочих местах *PM1*, *PM7* и *PM8* (рис. 3).

Многолетний опыт машиностроения показывает, что для предприятий с мелкосерийным и единичным характером хорошим достижением можно считать показатель загрузки оборудования 70...75% [6].

Предлагается использовать время незанятости рабочих мест для оперативного перераспределения работ в случае возникновения отклонений от выполнения плана.

На рис. 4 показан пример ситуации, когда при изготовлении детали *E* на рабочем месте *PM4* операция оказалась невыполненной. Как следствие, не могут быть выполнены последующие операции технологического процесса изготовления этой детали, а именно, операции на рабочих местах *PM5* и *PM6* (на рис. 4 эти операции перечеркнуты). Своевременное выявление отклонения, а также наличие незанятых периодов времени в графике работы оборудования позволяет добавить невыполненные операции (на рис. 4 выделены толстой линией).

Естественно, что манипуляции такого рода с планом возможны, только в случаях раннего выявления отклонения и при наличии свободных промежутков времени для организации всей оставшейся цепи технологических операций.

На предприятиях с односменным и полуторасменным режимом работы в тех случаях, когда невозможно откорректировать параметры плана во время рабочей смены, предлагается использовать свободное время между сменами для выполнения суточных плановых заданий. Пример на рис. 5 показывает добавление невыполненных в течение смены операций в период времени между сменами.

Организация оперативного учета фактического выполнения плановых заданий позволяет:

- в каждый момент времени представлять реальную картину текущего состояния производственного процесса;
- оперативно отслеживать возникающие отклонения;
- регулировать возникающие отклонения.

В процесс регулирования при необходимости может быть включен не только диспетчер, но и мастер участка. Использование единого ядра планирования, выборка из которого отображается в экранной информационной форме (рис. 2), позволяет мастеру

в любой момент времени отслеживать выполнение плана подконтрольным ему локальным участком в контексте общего производства.

### Заключение

Таким образом, в процессе управления в мелкосерийном и единичном производстве при возникновении отклонений от плана серьезной проблемой является «переориентация» (перемещение) комплексной производственной структуры изделия в пространстве планирования. Для этого требуется кардинальные изменения всей структуры плана, что практически приводит к необходимости полного переформирования расписания для каждого рабочего места.

В статье рассмотрен простой подход, обеспечивающий прагматичные решения задач оперативного управления для специфических производственных условий. Несмотря на некоторую ограниченность изложенного подхода, разработанное на его основе программное обеспечение успешно эксплуатируется на машиностроительном предприятии ОАО «Дальрыбтехцентр» (г. Владивосток).

Для решения рассматриваемой задачи в общем виде требуются дальнейшие системные исследования с использованием математических методов, позволяющих оперировать конечными множествами больших размерностей.

### Список литературы

1. Соломенцев Ю.М., Загидуллин Р.Р., Фролов Е.Б. Планирование в современных системах управления производством // Информационные технологии и вычислительные системы. 2010. №4. стр. 77-87.
2. Андриющенко В.А. Теория систем автоматического управления: Уч. пособие. Л.: Издательство Ленинградского университета. 1990. 256 с.
3. Колесникова О.В., Лелюхин В.Е. Подход к диспетчированию мелкосерийного дискретного машиностроительного производства // Сб. статей международной научно-практич. конф. «Инновации в науке и практике». Владивосток: ДВЦИТ. 2016 г. с. 72-78.
4. Лелюхин В.Е., Колесникова О.В. Интегрированная система конструкторско-технологической подготовки и управления производством на платформе 1С:УПП // Автоматизация в промышленности. 2015. №9. с. 34-38.
5. Iskanderov R.F., Frolov E.B. Effective management of small-scale production. Russian Engineering Research. Allerton Press, Inc. December 2011, Volume 31, Issue 12, pp 1279-1283. ISSN:1068-798X(print version). ISSN:1934-8088(electronic version).
6. Wortmann J.C., Hoogenraad M.S. Changeability of Production Management Systems/ In book: Advances in Production Management Systems, Chapter: Changeability of Production Management Systems, Publisher: Springer, Editors: Jan Olbager, Fredrik Persson, January 2007. pp.179-187.
7. Колесникова О.В., Лелюхин В.Е. Проблема составления оптимального расписания дискретного мелкосерийного производства // Фундаментальные исследования. 2015. №2. Ч.11. с. 2340-2343.

**Лелюхин Владимир Егорович** – канд. техн. наук, доцент кафедры технологии промышленного производства,

**Колесникова Ольга Валерьевна** – старший преподаватель,

**Кузьминова Татьяна Андреевна** – аспирант ФГАОУ ВПО «Дальневосточный федеральный университет».

Контактный телефон (914) 652-97-80. E-mail: miis@mail.ru