

УКРУПНЕННОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ производства в машиностроении

С.В. Бонакер, ведущий аналитик Центра компетенции «Автоматизация управления производством» АСКОН,
И.Г. Хармац, к.т.н., руководитель Центра компетенции «Автоматизация управления производством» АСКОН

Под укрупненным планированием производства чаще всего понимают формирование и анализ плана выпуска готовых изделий или Главного календарного плана производства (MPS). Горизонт планирования для MPS, как правило, составляет от полугода до 18 месяцев, но может достигать и 2-3 лет в зависимости от длительности производственного цикла (ДПЦ) изделий. Общепринятое правило – горизонт планирования MPS не должен быть меньше максимальной ДПЦ изделий, включенных в план. Период актуализации MPS на практике может колебаться от одного дня до полугода и сильно зависит от трудоемкости перепланирования и частоты поступления новых заказов.

При составлении или актуализации MPS решаются задачи соотнесения сроков выпуска изделий и загрузки производственных мощностей предприятия. При этом предприятие стремится минимальными или имеющимися мощностями и запасами выполнить максимальный объем заказов.

Простым примером баланса интересов заказчика и производителя может служить выбор и покупка автомобиля. Так, получение ряда популярных моделей можно ожидать около года после заказа. При этом покупатель получит функциональный и недорогой автомобиль (поэтому он и популярен), а производитель сократит свои затраты за счет наиболее эффективного использования основных средств, минимизации накладных расходов, сократит риски перепроизводства при изменении спроса. В этом случае выравнивание загрузки в течение горизонта планирования происходит за счет сдвига вправо даты выпуска заказанного изделия, а мощности остаются постоянными. В другом же случае – автомобиль может ждать вас прямо в салоне, да еще и в различных цветах и комплектациях. В этом случае составление MPS может быть более сложным из-за неравномерного распределения заказов по периодам планирования, что влечет за собой необходимость учитывать запасы, возможности по изменению производ-

ственных мощностей, возможности поставщиков.

Этот пример относится к массовому производству. В машиностроении на выпуске сложной, трудоемкой продукции производство неритмично. Каждый заказчик должен быть, что называется, «на вес золота», и поиск баланса интересов является нелегким делом для предприятия: и отказать нельзя (заказ уйдет), и подвести по срокам нельзя (тогда вместо последующих заказов могут прийти штрафные санкции). Поэтому увеличивается роль детального анализа формируемого MPS. Нужно «видеть» загрузку предприятия на весь горизонт планирования, чтобы быть честными с заказчиками и планировать необходимые мероприятия по управлению производственными мощностями, запасами, подстраиваться под ситуацию, держать ритм.

УКРУПНЕННОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ – КАК ЭТО БЫВАЕТ НА ПРАКТИКЕ

Жизнь прекрасна в своем разнообразии, и подходы к формированию и анализу MPS не являются исключением. Начать стоит с того, что сами цели и критерии оптимизации MPS для каждого предприятия могут быть свои. Кому-то нужно, как в примере с популярными автомобилями, максимально равномерно загрузить мощности в целом. Другие во главу угла ставят задачу сокращения

сроков выполнения заказов на наиболее выгодную продукцию, и рост объемов производства. Третьи используют критерий доли выполняемых заказов в срок в дополнение к другим целям. Различаются параметры планирования: горизонт, период планирования, частота актуализации и анализируемые ресурсы. Используются различные способы обработки данных и принятия решений:

- экспертная оценка – когда планировщик, как великий композитор, видит за каждой строкой плана гармонические колебания использования ресурсов и буквально «слышит» дисгармоничное «звучание» их загрузки в определенные периоды. Кстати, таких «маэстро» очень мало и их можно отнести к категории уникальных специалистов предприятия;

- ручной расчет – можно охарактеризовать как достаточно затратный и крайне медленный способ оценки плана, применимый для относительно небольшого количества (менее 100) не очень сложных объектов планирования и хорошо просчитанной нормативной базой для них;

- электронные таблицы – по сути, разновидность ручного расчета, но с возможностью копить и использовать историю изменений плана;

- автоматизированный расчет в специализированной системе – требует настройки, сопровождения, налаженных механизмов снабжения исходными данными (что не всегда просто организовать).

ОСОБЕННОСТИ МЕТОДИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ

Любой из способов анализа и оптимизации MPS требует выбора определенной методики расчетов. Под методикой или подходом к оценке MPS понима-

ем допущения, ограничения и исходные данные для расчетов.

Методика расчета должна отвечать определенным критериям:

- должна быть подходящей для предприятия и понятной для планировщиков (достаточно универсальной для всех изделий и на протяжении всего периода планирования);

- должна обеспечивать приемлемую точность (по отклонению от действительности) и полноту (по количеству характеристик) анализа плана с учетом полноты и достоверности исходных нормативных данных;

- должна обеспечивать хорошую скорость анализа, ведь процесс принятия решений и оптимизации плана всегда интерактивный, поэтому обсчет плана должен происходить быстро, как сейчас пишут, «online».

Используемые на практике подходы к построению и анализу MPS можно отнести к двум методикам, обозначаемым аббревиатурами: RCCP (ROUGH-CUT CAPACITY PLANNING – укрупненное планирование мощностей) и APS (Advanced Planning and Scheduling – усовершенствованное планирование). В данном контексте APS рассматривается не как класс систем автоматизации процессов планирования, а именно как подход, обладающий рядом преимуществ и недостатков.

RCCP-подход

Метод является частью стандартов MRP II и подразумевает оценку MPS на основе рассчитываемой потребности в ключевых ресурсах, необходимых для выполнения MPS. В качестве ключевых ресурсов чаще всего выбираются: общие трудозатраты, группы или конкретные модели оборудования, виды операций, дефицитные профессии. Для каждого ключевого ресурса проводится сравнение с плановой или нормативной мощностью (доступностью). Это сравнение помогает планировщику сформировать обоснованный план производства предприятия и выдать необходимые задания службам подготовки производства, управления персоналом, снабжения. Составление плана при RCCP-подходе осуществляется итерационно.

Перечислим основные преимущества метода:

1. Простота. Производится анализ ограниченного числа (как правило, не более 10-20) критических ресурсов путем простого сравнения потребности и наличия по периодам планирования.

2. Прозрачность для специалиста. Решения принимает сам планировщик, поэтому за ним остается вся логика оптимизации плана.

3. Высокая скорость расчетов (нетребовательность к вычислительным ресурсам). За счет сознательного упрощения моделей производственной среды и выпускаемых изделий достигается значительное сокращение объемов вычислений.

4. Низкая чувствительность к качеству (достоверности и полноте) нормативных данных. Упрощение моделей приводит к сглаживанию отдельных недочетов в исходных данных. Метод позволяет использовать описания уже имеющихся изделий для анализа новых видов продукции в производственном плане предприятия. В ряде случаев некоторая модификация моделей изделий-аналогов позволяет использовать их для включения в план и анализа изделий, не имеющих еще ни технологического, ни даже конструкторского описания.

По «закону сохранения» недостатки RCCP обусловлены причинами появления преимуществ данного методического подхода. К ним можно отнести:

1. Большую вовлеченность человека в процесс составления и анализа MPS.

2. Меньшую по сравнению с методом APS точность расчетов потребности в ресурсах, вызванную сознательным упрощением (укрупнением и усреднением) анализируемых данных.

3. Перечень критических ресурсов, рассчитываемых при анализе MPS, определяется планировщиком экспертно. Как следствие, при неверном выборе ресурсов как «критических» результаты анализа MPS могут привести к ошибочным выводам.

APS-подход

Усовершенствованное планирование (Advanced Planning and Scheduling, APS или Advanced Planning and Optimization, APO). Основной изюминкой подхода можно считать передачу части функций оптимизации при планировании алгоритмам автоматизированной системы. Теоретически APS призвана вообще освободить планировщика от итерационного планирования или, по крайней мере, значительно сократить количество этих итераций. APS обладает следующими преимуществами:

1. Планирование осуществляется с учетом плановой потребности и доступности всех ресурсов. Низкая нагрузка на

специалиста и (в теории) невысокие требования к его компетенциям как планировщика. Используемые алгоритмы позволяют провести оптимизацию плана автоматизированно.

2. Высокая точность анализа MPS.

Очевидны и недостатки APS:

1. Процесс оптимизации далеко не всегда прозрачен для планировщика, т.к. логика «защита» в алгоритмы автоматизированной системы и часто является коммерческой тайной компании-поставщика APS-продукта. Алгоритмы очень требовательны к качеству исходных данных. Модели изделий и производственной среды должны поддерживаться на высоком уровне.

2. При использовании APS значительно возрастают требования к вычислительным ресурсам. Метод крайне чувствителен к сложности изделий. С ростом количества ДСЕ в изделии и количества анализируемых ресурсов резко увеличивается время расчетов. APS, как, впрочем, и MES, гораздо более эффективны в промышленности с высокой специализацией производств, где среднее количество выпускаемой номенклатуры и типов технологических операций на несколько порядков меньше. В отечественном машиностроении высокая степень специализации и кооперации пока не является общепромышленной практикой. Рекомендуются практические подходы к оценке MPS

Применение указанных выше подходов к оценке MPS на практике зависит прежде всего от сложности выпускаемых изделий и типа производства. Для изделий, характеризующихся простыми составами и изготавливаемых крупной серией, предпочтительно использование APS. Для таких изделий достаточно легко описать точную структуру и технологию изготовления, число видов технологических операций очень ограничено, причем многие из них могут выполняться на узкоспециализированном оборудовании. Здесь результаты применения алгоритмов APS могут использоваться не только для оценки MPS, но и сразу для оперативно-календарного планирования без необходимости отдельного расчета. Типичным примером таких производств являются предприятия, выпускающие кабели.

При единичном и мелкосерийном производстве сложных изделий машиностроения предпочтителен подход RCCP. Целесообразность его применения при анализе главного плана произ-

водства обусловлена в первую очередь ограничениями, связанными с обеспечением необходимой полноты и достоверности данных на этапе укрупненного планирования.

Рассмотрим наиболее эффективные, на наш взгляд, методы оценки MPS и поступающих заявок на изготовление продукции в разрезе критических ресурсов на базе RССP-подхода.

АНАЛИЗ ПОТРЕБНОСТИ В РЕСУРСАХ БЕЗ УЧЕТА ДПЦ ИЗДЕЛИЯ

Способ анализа потребности в ресурсах без учета ДПЦ изделия подразумевает отнесение потребности в ресурсе для производства изделия на период выпуска изделия. Это наиболее распространенный метод оценки MPS в разрезе критических ресурсов.

Преимущество способа – простота. Весь объем потребных ресурсов при анализе плана учитывается на периоде выпуска изделия без учета длительности производственного цикла (ДПЦ) изделия и распределения потребности ресурсов на протяжении этого цикла.

Например, при горизонте планирования MPS в 1 год и периоде планирования 1 месяц критический ресурс – «установки плазменной резки», необходимый для производства готового изделия в августе, в полном объеме «ляжет» именно на август (рисунок 1).

В примере для наглядности приняты следующие упрощения:

- рассмотрены заказы на одно и то же изделие;
- количество изделий в заказе 1 шт.;
- известно, что для выпуска одного изделия требуется работа критического ресурса «установки плазменной резки» в количестве 50 нормочасов (н.ч.).

Для данного способа оценки укрупненной загрузки предприятия требуются следующие данные: перечень заказов с номенклатурой готовых изделий и количеством, плановыми датами выполнения каждого заказа.

1. Перечень анализируемых (критических) ресурсов и объемы их потребления для каждого изделия.

Применение анализа потребности в ресурсах без учета ДПЦ изделия приемлем для предприятий, ДПЦ основной массы изделий которых не превышает установленного периода планирования MPS. Это длинное утверждение на примере рисунка 1 означает, что ДПЦ всех

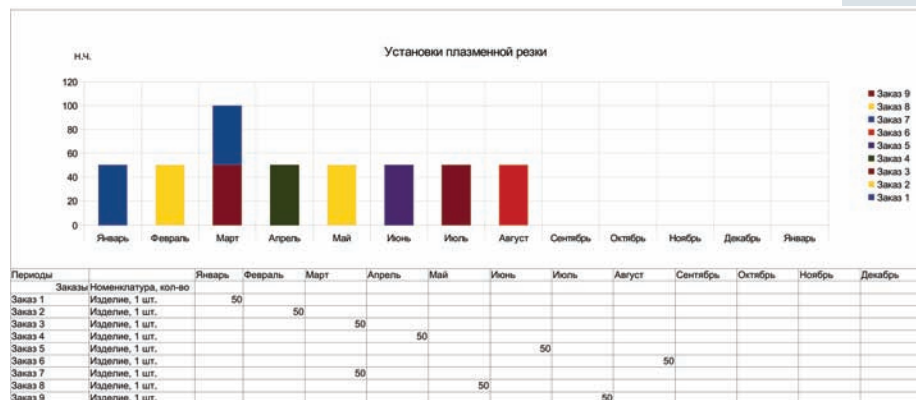


Рис. 1. Укрупненный анализ потребности в ресурсах без учета ДПЦ изделий

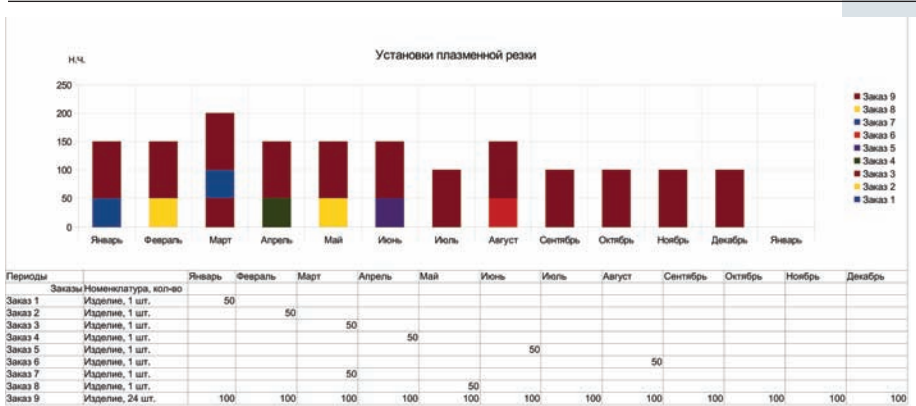


Рис. 2. Распределение потребности в ресурсе по этапам выполнения крупного заказа

изделий в заказах 1...9 не должен превышать одного месяца.

Кроме того, чтобы избежать ошибок планирования больших заказов, общая длительность выполнения которых превышает период планирования, такие заказы требуется разбить на части, соразмерные периоду. Если в том же примере с рисунка 1 представить наличие заказа №9 на 24 единицы продукции и (экспертно) сделать предположение о том, что выполнение этого заказа не получится уложить в один месяц (период планирования), — для получения адекватного графика загрузки этот заказ необходимо разделить на части так, чтобы изготовление каждой части не превышало бы одного месяца. Например, разделить такой заказ на 12 частей по 2 изделия в каждой и запланировать по периодам. Результат показан на рисунке 2.

Указанный метод очень прост и реализован в ряде распространенных программных продуктов. Он хорошо ложится, например, на производство простых типовых металлоконструкций или изготовление мебели. Однако он имеет существенное ограничение – для изделий

с длительным сроком изготовления он выдает большие погрешности планового распределения потребности в ресурсе. В этом случае такой способ оценки MPS неприемлем.

АНАЛИЗ ПОТРЕБНОСТИ В РЕСУРСАХ С ФИКСИРОВАННЫМ ДПЦ ИЗДЕЛИЯ

Анализ потребности в ресурсах с фиксированным ДПЦ изделия подразумевает распределение потребности в ресурсе для производства изделия на несколько периодов планирования MPS согласно нормативной потребности.

Преимущество способа – возможность его адекватного использования для изделий с ДПЦ, превышающим период планирования MPS. Данный подход является универсальным по отношению к изделиям с любой длительностью производственного цикла.

В нашем примере анализа плана на год по ресурсу «установки плазменной резки» при ДПЦ изделия 3 месяца необходимо распределить всю трудоемкость в размере 50 нормочасов по трем пери-



Рис. 3. Укрупненный анализ потребности в ресурсах с учетом ДПЦ изделий

одам планирования, равным одному месяцу. При распределении: 1-й период – 30 н.ч., 2-й период – 15 н.ч., 3-й период – 5 н.ч. картина загрузки будет заметно отличаться от предыдущего случая (сравните рисунок 1 и рисунок 3).

Для данного способа оценки укрупненной загрузки предприятия требуются следующие данные: перечень заказов с номенклатурой готовых изделий и количеством, плановыми датами выпуска.

1. Перечень анализируемых (критических) ресурсов и объемы их потребления для каждого изделия. Сведения о нормативной длительности производственного цикла каждого изделия, выраженной в периодах планирования MPS.

2. Структура распределения объема каждого критического ресурса по периодам планирования MPS на протяжении ДПЦ каждого изделия или номенклатурной группы.

Последнюю группу данных для каждого изделия можно выразить матрицей $m \times n$ такого вида (см. таблицу 1).

Из-за необходимости учитывать при планировании множество плановых периодов для каждого изделия и для каждого ресурса (т. е. формировать матрицы потребностей) данный способ практически не применим для расчетов вручную или с помощью электронных таб-

лиц. Его должна поддерживать используемая автоматизированная система управления производством.

На практике наибольшую трудность при использовании способа оценки MPS в разрезе ресурсов с учетом ДПЦ изделий представляет распределение по периодам планирования потребностей в ресурсах для каждого изделия. При использовании автоматизированной системы это распределение может быть рассчитано на основе производственной спецификации изделий (ПСП). Для этого необходимо выполнение хотя бы одного из двух дополнительных условий:

а) в описании технологических процессов (или Bill of Process, BOP) на элементы ПСП должны использоваться те же понятия ресурсов, что и при анализе MPS;

б) ресурсы, применяемые в описании BOP на элементы ПСП, должны быть однозначно сопоставлены ресурсам, применяемым при анализе MPS. В нашем примере это означает, что информационные объекты, описывающие установки БМТ-1560ПР и SBCUT-1520x5100 в ПСП, должны быть сопоставлены в системе объекту, описывающему ресурс «Установки плазменной резки» в анализе MPS. Допустимо и должно функционально поддерживаться ручное экспертное

описание изделий в разрезе критических ресурсов и периодов планирования, соответствующих ДПЦ. Режим ручного описания оправдан, например, если нормативная база на изделие слабо заполнена или вовсе отсутствует. Для сокращения трудоемкости такого описания можно использовать аналитические зависимости уровней потребления каждого ресурса от порядкового номера периода планирования в ДПЦ изделия:

$$s_i = f(i), i \in [1, m]$$

$$S = \sum_{i=1}^m s_i$$

где i – порядковый номер периода планирования в ДПЦ; s_i – величина потребления ресурса на i -м периоде; S – суммарная потребность в ресурсе на изделии; m – количество периодов планирования в ДПЦ изделия.

Указанные возможности реализованы в некоторых системах управления производством, ориентированных на сегмент машиностроения. Для примера на рисунке 4 представлена диаграмма анализа MPS, рассчитанная в системе автоматизированного управления производством «ГОЛЬФСТРИМ».

Следует отметить одно важное допущение, принятое в рассматриваемом методе, которое при определенных обстоятельствах может повлиять на адекватность получаемых результатов. Суть этого допущения – неизменность величины ДПЦ изделия, влияющей на распределение потребностей в ресурсах на шкале времени. Т.е. данный метод не позволяет имитировать ситуации «форсирования» или «забывания» некоторых заказов, при которых ДПЦ изделий либо несколько сжимаются (например, за счет распараллеливания работ, обычно выполняемых последовательно), либо растягиваются (за счет низкого приоритета заказа и выполнения соответствующих работ по остаточному принципу). Алгоритмы данного метода не позволяют также запланировать частичное изготовление какого-либо изделия, а затем возобновление работ (доделку) через заданный промежуток времени. Однако на практике такие «изыски» в виде плановой остановки и последующего плано-

Изделие	Ресурс	Ресурс	Ресурс	...	Ресурс
A	1	2	3		n
1	Период				
2	Период				
3	Период				
...					
m	Период				

Таблица 1

вого возобновления производства не используются, так как это заведомо приводит к росту незавершенного производства и замораживанию части оборотных активов предприятия.

**АНАЛИЗ ПОТРЕБНОСТИ
В РЕСУРСАХ С ФИКСИРОВАННОЙ
КРИВОЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ**

Данный способ анализа MPS подразумевает распределение потребности в ресурсе для производства изделия на несколько периодов выпуска по жестко заданной функции. Вид кривой распределения определяется экспертно и может быть своим для каждого критического ресурса и не зависеть от количества периодов планирования, укладываемых в ДПЦ изделия.

В общем случае закон распределения потребности в ресурсе может быть любым. Если одной из переменных функции является время t (что наиболее логично для построения модели), то для расчета потребности MPS по периодам планирования требуется преобразование функции распределения через приведение переменной t к величине периода.

Закон распределения потребности в ресурсе $s(t)$ должен подчиняться следующей зависимости:

$$S = \int_0^T s(t) dt$$

где T – длительность производственного цикла изделия.

Например, для ресурса «установки плазменной резки» мог бы быть принят закон распределения, согласно которому ДПЦ любого изделия условно разделяется на 3 равные части, а объем потребности в ресурсе распределяется между этими частями как $0,6S - 0,3S - 0,1S$. Этот очень простой пример можно описать ступенчатой функцией вида:

$$s(t) = \begin{cases} \frac{S}{T} & \text{при } t \in [0; \frac{1}{3}T) \\ 0,3 \frac{S}{T} & \text{при } t \in [\frac{1}{3}T; \frac{2}{3}T) \\ 0,1 \frac{S}{T} & \text{при } t \in [\frac{2}{3}T; T] \end{cases}$$



Рис. 4. Пример диаграммы анализа MPS в информационной системе

Семейство кривых при $S = 1$ для различных T приведено на рисунке 5.

При определении вида распределения потребности в ресурсе можно исходить из очень простых положений: что в первой части ДПЦ обычно преобладают заготовительные и механообрабатывающие операции, в средней части – термические, гальванические, сварочные, окрасочные и т.п., а в последней – сборочные и монтажные. Однако для адекватного описания распределений рекомендуется провести более подробный анализ структуры потребления критических ресурсов так называемыми «изделиями-представителями».

Преимущество рассмотренного метода – возможность убрать допущение о фиксированной длительности производственного цикла изделий, что дает возможность более гибко анализировать MPS с учетом приоритетов заказов и других производственных факторов. Пределы возможных изменений ДПЦ определяются из опыта планировщика.

К недостаткам данного метода можно отнести допущение о неизменности закона распределения ресурса по ДПЦ всех изделий. Устранение этого допущения, приводящее к детерминации видов распределения по каждому изделию или группе изделий, делает применение метода значительно более сложным, затратным по времени подготовки данных и нецелесообразным на практике.

Для рассмотренного метода оценки укрупненной загрузки предприятия требуются следующие данные: перечень заказов с номенклатурой готовых изделий и количеством, плановыми датами выпуска.

1. Перечень анализируемых (критических) ресурсов и объемы их потребления для каждого изделия.

2. Плановые даты запуска заказов или партий готовых изделий (если изготовление заказа планируется партиями). Использование плановых дат запуска позволяет более наглядно варьировать ДПЦ партий изделий или заказов. Сведения о нормативной длительности производственного цикла изделия носят прежде всего справочный характер и позволяют рассчитать даты запуска партии изделий или заказа в первой итерации планирования.

3. Закон распределения объема каждого критического ресурса по ДПЦ изделия.

Если отсутствует полная нормативная база на изделия, основная продукция имеет высокие значения ДПЦ, на предприятии внедрены методики ранжирования (приоритизации) заказов и регламенты работы по исполнению заказов с учетом приоритетов – применение анализа MPS по потребности в ресурсах с фиксированной кривой распределения является наиболее предпочтительным вариантом.

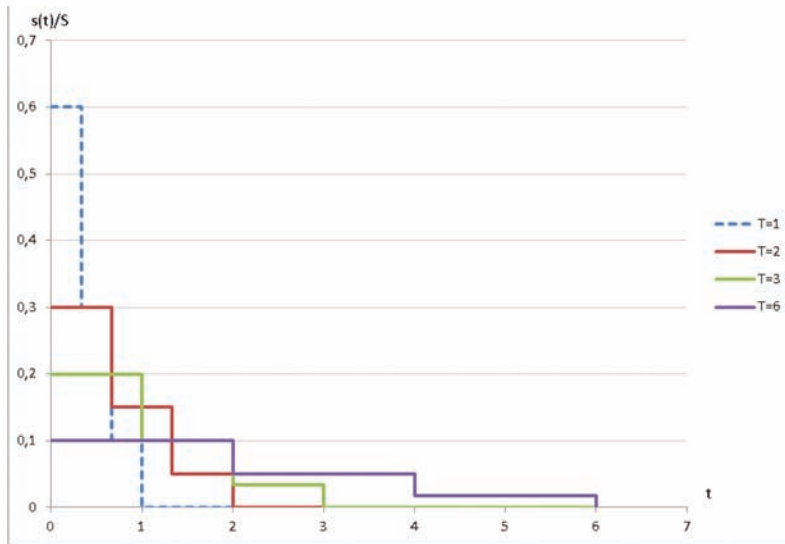


Рис. 5. Вид функции распределения ресурса при различных значениях ДПЦ

ВЫВОДЫ

Формирование и анализ MPS – важная часть планирования производства. На этом этапе выявляются возможные проблемы в согласовании сроков выпуска изделий и загрузки производственных мощностей предприятия, принимаются решения по способам их преодоления. Ошибки и погрешности при анализе основного производственного плана предприятия могут с «эффектом хлыста» ударить как по срокам выполнения заказов, так и по производственным издержкам,

ритмичности производства, качеству изделий. Так называемый «эффект хлыста» заключается в усилении амплитуды колебания спроса по мере удаления от реального источника спроса в цепи поставок, то есть по мере детализации основного производственного плана до номенклатурных планов цехам и сменным заданиям для рабочих центров, участков.

Недостаточное внимание к анализу и оптимизации MPS может оказаться «дорогим удовольствием». Важно правильно подобрать инструменты составления и анализа

основного производственного плана. Следует учитывать стратегию и тип производства, ДПЦ и сложность изделий, эффективность действующей системы подготовки производства в части нормативных данных.

Представленные в статье методы ориентированы на применение автоматизированных информационных систем. Использование этих методов позволит более быстро и качественно выполнять оценку MPS в условиях единичного и мелкосерийного производства сложных изделий машиностроения. Примеры графических представлений различных способов анализа одного и того же плана наглядно показывают важность обоснованного выбора подхода к его оценке. Нужен компромисс между точностью модели плана и возможностями поддерживать эту модель организационно-техническими средствами.

Автоматизация управления производством – сложная комплексная задача. При ее решении на практике часто возникают противоречия между желанием получать точные и оптимальные планы, вести самый детальный учет и готовностью предприятия обеспечить необходимую полноту и актуальность данных об изделиях и производственной среде, обеспечить изменение и функционирование обновленных процессов подготовки производства, планирования, производственного учета. ■

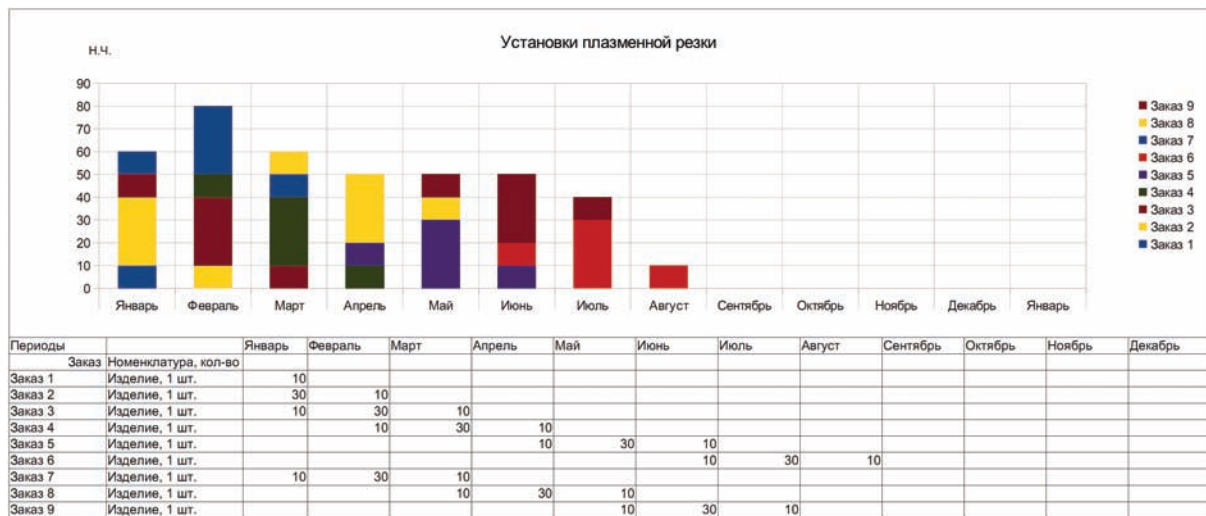


Рис. 6. Углубленный анализ потребности в ресурсах с учетом ДПЦ и фиксированной кривой распределения ресурса внутри ДПЦ изделия