

DOI 10.15593/2224-9354/2018.1.19

УДК 621 : 658.5.012.2

**И.Г. Хармац, Н.М. Куприков**

## **УКРУПНЕННОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА В СЛОЖНОМ МАШИНОСТРОЕНИИ: РАСШИРЕННЫЕ АЛГОРИТМЫ ОЦЕНКИ ПОТРЕБНОСТИ В МОЩНОСТЯХ**

Рассмотрены подходы к оценочному расчету ключевых производственных ресурсов, необходимых для выполнения главного календарного плана производства на предприятиях сложного машиностроения. Приведены основные факторы, влияющие на создание и оценку главного календарного плана производства в условиях позаказного производства изделий с высокой длительностью производственного цикла. Рассмотрены преимущества, недостатки и предпочтительные условия применения итерационных и синхронных алгоритмов оценки потребности в ресурсах – RCCP (оценка плана по критическим ресурсам) и APS («продвинутое» планирование). Приведены особенности использования методик RCCP, рекомендуемых международной организацией APICS в рамках стратегий производственного планирования MRP II/ERP, для оценки исполнимости главного календарного плана производства по критическим ресурсам в условиях позаказного единичного и мелкосерийного машиностроительного производства. Показано, что для указанных типов производства данные методики дают сильно искаженную оценку потребности в ресурсах. Предложены расширенные алгоритмы оценки сформированной версии календарного плана, который на основе подтвержденного портфеля заказов определяет сроки запуска и выпуска изделий, характеризующихся высокой длительностью производственного цикла. Разработанные алгоритмы позволяют получить адекватную оценку потребности каждого ключевого (критического) ресурса для рассматриваемого главного календарного плана производства и функции распределения этой потребности по периодам в пределах горизонта планирования. Помимо теоретического изложения алгоритмов, в статье приведены практические рекомендации по их использованию на предприятиях сложного машиностроения, в том числе по автоматизированному сбору исходных данных с учетом применяемых информационных систем для поддержки процессов управления производством.

*Ключевые слова: планирование производства, оценка календарного плана производства, производственные мощности, критические ресурсы, RCCP, MRP II, ERP.*

Под укрупненным планированием производства предприятия чаще всего понимают формирование и анализ плана выпуска готовых изделий или главного календарного плана производства (MPS, согласно определению [1]). Горизонт планирования для MPS, как правило, составляет от 6 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

---

© Хармац И.Г., Куприков Н.М., 2018

**Хармац Илья Григорьевич** – канд. техн. наук, доцент Московского государственного технического университета гражданской авиации, технический директор ООО «АСКОН-Производственные решения», e-mail: kharmats@mail.ru.

**Куприков Никита Михайлович** – канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник НОЦ «Функциональные наноматериалы для космической техники» Московского авиационного института (Национальный исследовательский университет), e-mail: nkuprikov@mai.ru.

в план [2]. Период актуализации MPS на практике может колебаться от одного дня до полугода и сильно зависит от трудоемкости перепланирования и частоты поступления новых заказов [2, 3].

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

В позаказном машиностроении сложной продукции производство, как правило, неритмично. Для удовлетворения потребностей заказчиков и выполнения обещанных сроков поставок требуется понимать загрузку производства на всем горизонте планирования. Это позволяет планировать необходимые мероприятия по управлению производственными мощностями, запасами, подстраиваться под ситуацию, «держат ритм». Для единичного и мелкосерийного производства позаказность характеризуется следующими факторами<sup>1</sup>:

- на момент выработки решения о включении заявки в MPS (т.е. перевода заявки в производственный заказ) нет детального описания изделия в разрезе ресурсных или конструкторско-технологических спецификаций;
- параметры доступности мощностей на длинном горизонте планирования имеют высокую вариативность;
- для сложных изделий конструкторско-технологическая подготовка производства обычно ведется параллельно с производством (опережая запуск в производство каждого узла или каждой крупной работы на некоторую переменную величину  $\Delta T$ ). Таким образом, полное пооперационное описание изделия формируется незадолго до окончания исполнения заказа;
- технологическая подготовка производства содержит очень небольшое число параметров и обычно ограничивается допустимым минимумом маршрутного описания. Нормы трудоемкости определяются укрупненно, расчет длительностей выполнения операций обычно отсутствует.

Методика анализа MPS в части обеспечения производственными мощностями должна отвечать следующим общим критериям:

- понятность для специалистов, выполняющих планирование;
- универсальность для всех изделий, включаемых в MPS, и на протяжении всего периода планирования;
- приемлемая точность (по отклонению от действительности) и полнота (по количеству характеристик) анализа плана с учетом полноты и достоверности исходных нормативных данных;

---

<sup>1</sup> Особенно это характерно для единичных/мелкосерийных производств металлоемкого металлургического и нефтегазопромыслового оборудования, ремонтных производств сложных изделий машиностроения.

- хорошая скорость анализа, так как процесс принятия решений и оптимизации плана почти всегда интерактивный.

Используемые на практике подходы к построению и анализу MPS можно отнести к двум методикам: RCCP (Rough Cut Capacity Planning – укрупненное планирование мощностей по [1]) и APS (Advanced Planning and Scheduling – так называемое «усовершенствованное» или «продвинутое» планирование [4])<sup>2</sup>.

*Метод RCCP* является частью стандартов MRP II [5] 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 [6]. Для каждого ключевого ресурса проводится сравнение его потребности по MPS с плановой или нормативной мощностью (доступностью ресурса). Это сравнение помогает планировщику сформировать сбалансированный и с высокой вероятностью исполнимый план производства предприятия. Составление плана при подходе RCCP осуществляется итерационно.

Преимущества метода RCCP следующие:

1. Простота. Производится анализ ограниченного числа (как правило, не более 10–20) критических ресурсов путем простого сравнения потребности и прогноза 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 многократное сокращение объемов вычислений. Это позволяет планировщику получать результаты оценки проекта плана почти мгновенно и без ожидания переходить к следующей итерации.

4. Низкая чувствительность к качеству (достоверности и полноте) нормативных данных. Упрощение моделей приводит к сглаживанию отдельных недочетов в исходных данных.

5. 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.

К недостаткам RCCP относятся:

1. Большая вовлеченность специалиста в процесс составления и анализа MPS.

---

<sup>2</sup> В данном контексте APS рассматривается не как класс систем автоматизации процессов планирования и составления расписаний, а именно как подход, определяющий операционную модель планирования производства с параллельной оценкой доступности мощностей.

2. Меньшая по сравнению с методом APS точность расчетов потребности в ресурсах, вызванная 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.

При использовании *подхода APS* большая часть функций по оптимизации MPS выполняется с помощью специализированных алгоритмов, основанных на различных разделах теории расписаний [7, 8]. Теоретически подход APS призван вообще освободить планировщика от итерационного планирования или, по крайней мере, значительно сократить количество этих итераций.

Преимуществами APS являются [9, 10]:

1. Осуществление расчета плана сразу с учетом плановой потребности и доступности всех ресурсов.

2. Низкая нагрузка на специалиста и (в теории) невысокие требования к его компетенциям как планировщика. Алгоритмы построения расписаний позволяют провести оптимизацию плана автоматизированно по одному или нескольким выбранным критериям.

3. Высокая точность анализа MPS.

Недостатки APS следующие:

1. 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.

3. Процесс оптимизации далеко не всегда прозрачен для планировщика. Ответить на вопрос «почему так, а не иначе» (вручную идентифицировать фрагмент логики алгоритма по результатам расчета) можно только на задачах очень малой размерности и при доскональном знании используемых моделей оптимизации. На практике планировщику приходится доверять результату, контролируя работу алгоритма только по простым граничным условиям.

4. Метод крайне чувствителен к сложности изделий. С ростом количества ДСЕ в изделии и количества анализируемых ресурсов резко увеличивается время расчетов.

APS 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. Кроме того, алгоритмы APS преимущественно используются именно для составления расписания, смещая акцент от задачи непосредственно планирования к задаче поиска наилучшего порядка исполнения плана.

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 сразу для формирования MPS и для краткосрочного оперативно-календарного планирования производства (построения расписания работ) без необходимости отдельного расчета. Типичным примером таких производств являются предприятия кабельной промышленности.

Выполненные авторами исследования процессов планирования производства более 80 машиностроительных предприятий РФ показали, что в единичном и мелкосерийном производстве сложных изделий машиностроения подход РССТ гораздо более рационален. Целесообразность его применения при анализе главного плана производства обусловлена в первую очередь ограничениями, связанными с обеспечением необходимой полноты и достоверности данных на этапе укрупненного планирования.

Вместе с тем исследования показали, что методики РССТ, зафиксированные в рекомендациях APICS, для указанных типов производств непригодны. Напомним, что к таким методикам относятся [11, 12]:

- CPOF (Capacity Planning Using Overall Factors);
- BOL (Bill of Labor (resources, capacity));
- RP (Resource Profile).

Сущность CPOF заключается в том, что задается распределение потребления ресурса по центрам затрат этого ресурса (подразделениям, рабочим центрам и т.п.), а также общий объем потребления ресурса для производства одной единицы каждого из продуктов. Далее на основе этих данных и MPS оценивается потребность в ресурсе в каждом из периодов планирования.

Метод BOL более требователен к данным и основан на описании для каждого продукта по каждому центру затрат ресурсов потребности в них. Далее на основе этих данных и MPS оценивается потребность в ресурсе в каждом из периодов планирования.

Метод RP – единственный, который учитывает тот факт, что не все затраты ресурсов могут осуществляться в том же интервале планирования, в котором производится продукция. Проявляется это в том, что затраты ресурса на производство единицы каждого из видов продукции могут быть расписаны по оси времени, что дает несколько более адекватную картину загрузки производственных мощностей. Однако и с его ограничениями (например, равенство интервалов потребностей в ресурсах и интервалов MPS, отнесение к одному пла-

новому периоду заказов с большим количеством изделий и др.) результаты оценки MPS на практике оказываются неудовлетворительными.

Для получения адекватных результатов оценки MPS по производственным ресурсам (мощностям) и устранения недостатков приведенных выше методик APICS для единичных/мелкосерийных производств длинноцикловых изделий предлагаются следующие методы:

- метод оценки потребности в ресурсах с фиксированной ДПЦ изделий;
- метод оценки потребности в ресурсах с фиксированными кривыми распределения ресурсов.

**Метод оценки потребности в ресурсах с фиксированной ДПЦ** изделий подразумевает распределение потребности в  $j$ -м ресурсе для производства изделия на несколько периодов планирования потребностей  $C\{c_k\}$ ,  $k = [1, h]$  согласно нормативной потребности. При этом для простоты к периодам планирования потребностей применяются следующие ограничения:

$$c_1 = c_2 = \dots c_k = \dots = c_h = c = \text{const}, \quad (1)$$

$$\forall i, c \leq t_i \vee t_i : c, \quad (2)$$

где  $T\{t_i\}$  – множество периодов планирования MPS,  $i = [1, m]$ .

Для метода оценки потребности в ресурсах по MPS предприятия требуются следующие данные:

1. Множество заказов с номенклатурой и количеством готовых изделий, плановыми датами выпуска заказа или группы изделий в заказе.
2. Множество анализируемых (критических) ресурсов и объемы их потребления для каждого изделия.
3. Сведения о нормативной длительности производственного цикла каждого изделия, выраженной в периодах планирования потребностей.
4. Структура распределения объема каждого критического ресурса по периодам потребности на протяжении ДПЦ каждого изделия или номенклатурной группы. Такая структура для каждого  $s$ -го изделия может быть выражена матрицей  $M_s$  ( $n \times h$ ).

Дата выпуска каждого заказа из производства (или группы изделий в заказе) приводится к номеру периода планирования потребностей, в интервал которого попадает дата заказа, а затем с учетом (2) – к номеру периода планирования MPS. Расчет потребности в  $j$ -м ресурсе на  $i$ -м периоде планирования потребности выполняется по формуле

$$R_{j,i} = \sum_{s=1}^l \sum_{x=i}^{i+h-1} r_{j,i+h-x,s} \cdot n_{x,s}, \quad (3)$$

где  $l$  – количество видов (номенклатуры) изделий;  $n_{x,s}$  – количество изделия  $s$ -го вида  $x$ -м периоде планирования потребностей,  $x = [i, i + h - 1]$ ;  $r_{j,i+h-x,s}$  – потребность в  $j$ -м ресурсе на  $(i + h - x)$  периоде для  $s$ -го изделия по матрице  $M_s$ .

Перевод планового значения потребностей  $\mathbf{R}\{R_{j,i}\}$  в периоды планирования MPS выполняется с помощью соотношений (2) для конкретного плана.

Приведенный метод дает более адекватную оценку потребностей в критических ресурсах по сравнению с RP за счет разделения периодов планирования MPS и периодов планирования потребностей в ресурсах.

На практике наибольшую трудность при использовании метода оценки потребности в ресурсах с фиксированным ДПЦ представляет распределение по периодам планирования потребностей в ресурсах для каждого изделия. При использовании автоматизированных систем это распределение может быть рассчитано на основе статистики изготовления подобных изделий по их производственным спецификациям (ПСП). Для этого необходимо выполнение хотя бы одного из двух дополнительных условий:

- в описании технологических процессов (или Bill of Process, BOP) на элементах ПСП должны использоваться те же понятия ресурсов, что и при анализе MPS;
- ресурсы, применяемые в описании BOP на элементы ПСП, должны быть однозначно сопоставлены с ресурсами, применяемыми при анализе MPS, в соотношении «один к одному» или «многие к одному».

Также на практике для сокращения трудоемкости описания каждого  $s$ -го изделия в разрезе критических ресурсов рекомендуется использовать аналитические зависимости уровней потребления каждого  $j$ -го ресурса от порядкового номера периода планирования потребности в виде

$$r_{j,k,s} = f(k, s), k = [1, h], R_{j,s} = \sum_{k=1}^h r_{j,k,s}, \quad (4)$$

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, влияющее на распределение потребностей в ресурсах на шкале времени. Таким образом, данный метод, как и RP, 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<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> Последнее ограничение впрочем имеет скорее теоретическое, нежели практическое значение – «изыски» в виде плановой остановки и последующего планового возобновления производства на практике используются крайне редко, так как это заведомо приводит к росту незавершенного производства и замораживанию части оборотных активов предприятия.

**Метод оценки потребности в ресурсах с фиксированными кривыми распределения ресурсов** подразумевает распределение потребности в ресурсе для производства изделия по жестко заданной функции. Вид кривой распределения определяется экспертно/статистически 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  $\mathbf{T}\{t_i\}$  выполняется преобразование функции распределения через приведение переменной  $t$  к величине периода.

В качестве допущения принимаем, что закон распределения потребности в  $j$ -м ресурсе для  $s$ -го изделия  $R_{j,s}$  подчиняется следующей зависимости:

$$R_{j,s} = \int_0^{\text{ДПЦ}_s} r_{j,s}(t) dt = \text{const}, \quad (5)$$

т.е. суммарное потребление ресурса на интервале ДПЦ<sup>4</sup> остается постоянным при любом ДПЦ <sub>$s$</sub>   $\geq t_{s \text{ min}}$ , где  $t_{s \text{ min}}$  – минимальная величина ДПЦ  $s$ -го изделия при неограниченных ресурсах, максимально возможном распараллеливании работ и отсутствии перерывов в производственном цикле изготовления.

Расчет потребности в ресурсах для MPS ведется по указанным выше формулам с дополнительным промежуточным приведением  $t$  к периодам планирования потребностей. Благодаря этому использование указанного метода возможно с наследованием наработанной базы данным по массивам матриц  $\mathbf{M}_s$ . Например, переход от матрицы  $1 \times 3$  использования одного ресурса по трем периодам планирования:

$$\mathbf{M}_s = (0,55R_{1,s} \quad 0,38R_{1,s} \quad 0,07R_{1,s})$$

обеспечивается ступенчатой функцией вида

$$R_{1,s} = \begin{cases} 0,55 \frac{R_{1,s}}{\text{ДПЦ}_s}, & \text{при } t \in \left[ 0; \frac{\text{ДПЦ}_s}{3} \right) \\ 0,38 \frac{R_{1,s}}{\text{ДПЦ}_s}, & \text{при } t \in \left[ \frac{\text{ДПЦ}_s}{3}; \frac{2}{3} \text{ДПЦ}_s \right) \\ 0,07 \frac{R_{1,s}}{\text{ДПЦ}_s}, & \text{при } t \in \left[ \frac{2}{3} \text{ДПЦ}_s; \text{ДПЦ}_s \right] \end{cases} \quad (6)$$

<sup>4</sup> Здесь ДПЦ измеряется не в периодах планирования потребностей, а в единицах измерения  $t$ .



Семейство кривых при  $R_{1,s} = 1$  для различных значений ДПЦ<sub>s</sub> по (6) приведено в качестве примера на рисунке.

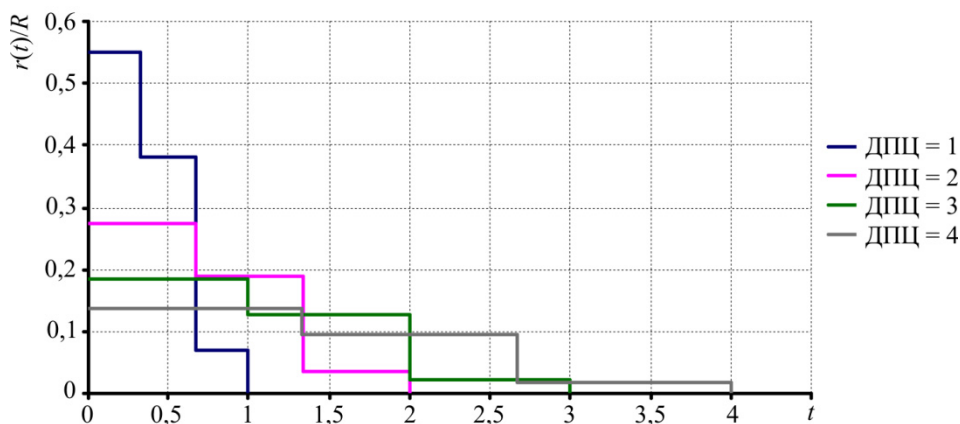


Рис. Пример функции распределения ресурса при различных значениях ДПЦ

При определении вида распределения потребности в ресурсе можно исходить из очень простых положений: 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. Вместе с тем для адекватного описания распределений рекомендуется провести более подробный анализ структуры потребления критических ресурсов так называемыми «изделиями-представителями».

При необходимости анализа больших MPS для первых итераций рекомендуется представлять ДПЦ изделия как функцию приоритета заказа, в рамках которого это изделие изготавливается.

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. Кроме того, указанный подход позволяет моделировать загрузку так называемых «мигрирующих узких мест» в производственном цикле изделия (или группы изделий).

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

Для рассмотренного метода оценки укрупненной загрузки предприятия требуются следующие данные:

1. Перечень заказов с номенклатурой готовых изделий и количеством, плановыми датами выпуска.
2. Перечень анализируемых (критических) ресурсов и объемы их потребления для каждого изделия.
3. Плановые даты запуска заказов или партий готовых изделий (если изготовление заказа планируется партиями). Использование плановых дат запуска позволяет более наглядно варьировать ДПЦ партий изделий.
4. 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.
5. 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 (приоретизации) 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.

## **Список литературы**

1. APICS Dictionary. – 13th ed. – The Association for Operations Management, 2010.
2. Chang C., Krajewski L.J. Planning Horizons for Master Production Scheduling // Journal of Operations Management. – 1984. – Vol. 8. – P. 389–406.
3. Baker K.R., Trietsch D. Principles of Sequencing and Scheduling. – Wiley, New York, 2005.
4. Мауэрглауз Ю.Е. «Продвинутое» планирование и расписание (AP&S) в производстве и цепочках поставок. – М.: Экономика, 2012. – 574 с.
5. Рыбников А.И. Система управления предприятием типа MRP II. – М.: Аэроконсалт, 1999. – 134 с.
6. Manufacturing Planning and Control for Supply Chain Management / T.E. Vollmann, W.L. Berry, D.C. Whybark, F.R. Jacobs. – McGrawHill Publishing, Boston, 2005.
7. Stadler H., Kilger C. Supply Chain Management and Advanced Planning Concepts, Models, Software, and Case Studies. – 4th ed. – Springer, Berlin, 2008.
8. Kondili E., Pantelides C.C., Sargent R. A General Algorithm for Short-Term Scheduling of Batch Operations // Comput. Chem. Eng., 1993. – Vol. 17. – P. 211–227.
9. Pinedo M.L. Planning and Scheduling in Manufacturing and Services. – Springer, New York, 2005.

10. Sule D.R. *Production Planning and Industrial Scheduling*. – Taylor & Francis Group, London, 2007.

11. Гаврилов Д.А. Управление производством на базе стандарта MRP II 2-е изд. – СПб.: Питер, 2005. – 416 с.

12. Fogarty D.W., Blackstone J.H., Hoffmann Jr.T.R. *Production & inventory management*. – 2nd ed. – South Western Publishing Co., Cincinnati, 1993.

## References

1. APICS Dictionary. 13th ed. The Association for Operations Management, 2010.

2. Chang C., Krajevski L.J. Planning horizons for Master Production Scheduling. *Journal of Operations Management*, 1984, vol. 8, pp. 389–406.

3. Baker K.R., Trietsch D. *Principles of sequencing and scheduling*. Wiley, New York, 2005.

4. Mauergauz Iu.E. “Prodvintoe” planirovanie i raspisaniia (AP&S) v proizvodstve i tsepkakh postavok [Advanced planning and scheduling (AP&S) in manufacturing and supply chains]. Moscow, Ekonomika, 2012, 574 p.

5. Rybnikov A.I. Sistema upravleniia predpriatiem tipa MRP II [Enterprise management system of MRP II type]. Moscow, Aerokonsalt, 1999, 134 p.

6. Volmann T.E., Berry W.L., Whybark D.C., Jacobs F.R. *Manufacturing planning and control for supply chain management*. Boston, McGrawHill Publishing, 2005.

7. Stadler H., Kilger C. *Supply chain management and advanced planning concepts, models, software, and case studies*. Berlin, Springer, 2008.

8. Kondili E., Pantelides C.C., Sargent R. A general algorithm for short-term scheduling of batch operations. *Computers and chemical engineering*, 1993, vol. 17, pp. 211–227.

9. Pinedo M.L. *Planning and scheduling in manufacturing and services*. New York, Springer, 2005.

10. Sule D.R. *Production planning and industrial scheduling*, London, Taylor & Francis Group, 2007.

11. Gavrilov D.A. *Upravlenie proizvodstvom na baze standartata MRP II [Production management based on MRP II standards]*. Saint-Petersburg, Piter, 2005, 416 p.

12. Fogarty D.W., Blackstone J.N., Hoffmann Jr. T.R. *Production and inventory management*, Cincinnati, South Western Publishing So., 1993.

*Оригинальность 94 %*

Получено 14.07.2017    Принято 30.08.2017    Опубликовано 30.03.2018

**I.G. Kharmats, N.M. Kuprikov**

**MASTER PRODUCTION PLANNING & SCHEDULING  
FOR HEAVY MACHINERY: ADVANCED ALGORITHMS  
OF ROUGH CUT CAPACITY PLANNING**

The article considers main approaches to capacity estimation of key manufacturing resources necessary for Master Production Schedule (MPS) execution of heavy machinery plant. The main factors influencing MPS' creation and estimation in terms of manufacturing ordered products with long production cycle are showed. The authors discuss advantages, disadvantages and preferred conditions for the application of iterative (Rough Cut Capacity Planning, RCCP) or simultaneous (Advanced Planning & Scheduling, APS) algorithms to estimate resource requirements. The features of the RCCP methods (recommended by APICS in MRP II/ERP strategies) for custom individual (unique) and short-run machinery production are discussed. The methods studied are proved to give a highly distorted assessment of the resource requirements for the specified types of production. Advanced algorithms of Rough Cut Capacity Planning for MPS' appropriate assessment of unique and short-run machinery production are proposed. The developed algorithms allow obtaining an adequate assessment of each key manufacturing resource requirement for MPS execution and function of this requirement during MPS' period. The article also provides some recommendations for algorithms usage at the production management processes.

*Keywords: production planning, production schedule assessment, production capacity, critical resources, RCCP, MRP II, ERP.*

**Ilya G. Kharmats** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Moscow State Technical University of Civil Aviation; CTO, ASCON – Proizvodstvennyye Resheniya LLC, e-mail: kharmats@mail.ru.

**Nikita M. Kuprikov** – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Moscow Aviation Institute (National Research University), e-mail: nkuprikov@mai.ru.

Received 17.07.2017

Accepted 30.08.2017

Published 30.03.2018