

## КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ОПЕРАТИВНО-КАЛЕНДАРНОГО ПЛАНА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

*М.А. Бражников, Е.Г. Сафронов*

Самарский государственный технический университет  
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

E-mail: qaz2201@yandex.ru

*Предложена система показателей комплексной оценки оперативно-календарных планов производства: отклонение от равномерности использования ресурсов, коэффициент ритмичности, длительность одного оборота трудовых затрат, потребность в оборотных средствах. Сформулирован общий подход к анализу альтернативных вариантов календарного плана на основе принципов многокритериальной оптимизации.*

**Ключевые слова:** *оперативно-календарный план, ритмичность производства, равномерность использования ресурсов, коэффициент ритмичности, длительность оборота трудовых затрат, потребность в оборотных средствах, векторная оптимизация.*

Эффективность машиностроительного производства – обеспечение ритмичности технологического процесса, сохранение запланированного уровня качества выпускаемых изделий, снижение их себестоимости, а следовательно, и повышение конкурентоспособности продукции – во многом предопределена содержанием методов внутризаводского планирования. И в первую очередь обеспечение нормального (запланированного) хода технологического процесса зависит от степени точности, качества и уровня обоснования календарных планов производства.

В целях оценки, мониторинга и анализа выполнения производственного плана необходимо использовать обобщающие показатели, отражающие уровень и динамику ритмичности производства [1, с. 128]. Для того чтобы установить связь оценки изменения ритмичности и эффективности производства, выполнено следующее экспериментальное исследование [2]. В качестве объекта исследования выбрана производственная программа участка узловых сборок одного из цехов машиностроительного объединения – номенклатура рассматриваемого участка (63 сборочные единицы). Путем изменения величины допустимого отклонения от равномерности по всем видам используемых ресурсов на основе разработанной экономико-математической модели [3] получен (при прочих равных условиях) ряд календарных планов одного и того же участка за один и тот же плановый период.

В процессе разработки календарных планов в качестве допустимых отклонений от равномерности использования ресурсов использованы величины, полученные в ходе экспериментальных исследований [2] и равные 10 %:

- объем сборочных работ на единицу длительности цикла;
- фонд времени по каждой группе взаимозаменяемых сборочных рабочих мест и по каждой механообрабатывающей стадии;
- объем выпуска продукции;
- величина связывания средств в незавершенном производстве.

Оценка полученных календарных планов сборочного участка выполнена с по-

---

*Максим Алексеевич Бражников (к.э.н., доц.), доцент кафедры «Производственный менеджмент».*

*Евгений Геннадьевич Сафронов (к.э.н.), ст. преподаватель кафедры «Производственный менеджмент».*

мощью следующих показателей:

- отклонения от равномерности (по каждому виду вовлекаемых в процесс производства ресурсов) запланированных объемов от объемов ритмичного выпуска;
- средняя длительность одного оборота трудовых затрат в производстве, отражающая динамику вовлечения оборотных средств в условиях реализации построенного календарного плана;
- коэффициенты ритмичности, обеспечивающие учет степени соответствия запланированных работ объему ритмичного выпуска;
- условная потребность в оборотных средствах, связанных в незавершенном производстве.

**Отклонения от равномерности.** По каждому виду используемых ресурсов отклонения от равномерности определены как отношение потребных (вовлекаемых в производственный процесс) ресурсов по каждому планово-учетному периоду к значению имеющихся ресурсов, характеризующих их пропорциональное (ритмичное) использование. Отклонения от равномерности, выраженные в процентах, позволяют на этапе построения календарного плана отслеживать возобновление процесса производства в разрезе каждого планово-учетного периода, отражая достаточно надежную и наглядную картину динамики фактического выполнения плана.

Использование относительно простых показателей отклонений от равномерности позволит обеспечить пропорциональность потребления различных видов ресурсов, на базе которых осуществлено построение календарных планов.

Рост величины допустимых отклонений от 4 до 22 % обуславливает снижение относительной величины нарушения ритмичности по всем видам ресурсов. Так, разработка календарного плана в условиях 10%-х отклонений приводит к максимальным пределам в разрезе первых двух декад. Предельные отклонения по величине незавершенного производства составили –13,77 % во второй декаде, по фондам времени взаимозаменяемого оборудования –10,90 и –11,70 %.

В последних декадах планового периода отклонения по видам ресурсов обеспечивают минимальные значения: в пределах от –3,77 до +2,77 %.

**Оценка ритмичности.** Коэффициент ритмичности рассчитывается как по каждой декаде в отдельности, так и кварталу в целом по формуле

$$R_k = \frac{\bar{T}_k}{T_k} + \min \left\{ \frac{T_k^{\Pi} - \bar{T}_k}{\sum_{k=1}^k T_k}, \frac{\sum_{k=1}^k (T_k - \bar{T}_k)}{\sum_{k=1}^k T_k} \right\}, \quad (1)$$

или

$$R_k = \frac{\sum_{k=1}^k T_k^{\Pi}}{\sum_{k=1}^k T_k} + \min \left\{ \frac{T_k^{\Pi} - \frac{\sum_{k=1}^k T_k}{k}}{\sum_{k=1}^k T_k}, \frac{\sum_{k=1}^k T_k - \frac{\sum_{k=1}^k T_k}{k}}{\sum_{k=1}^k T_k} \right\}, \quad (2)$$

где  $k$  – порядковый номер текущего (анализируемого) планово-учетного периода в плановом периоде;

$T_k$  – средний плановый (ритмичный) объем выпуска за планово-учетный пери-

од, нормо-часов;

$\bar{T}_k$  – планируемый (потребный) объем выпуска за планово-учетный период ( $k = 1, 2, \dots, k$ ) в пределах среднего планового объема, нормо-часов;

$T_k^{\Pi}$  – объем выпуска за планово-учетный период ( $k$ ), нормо-часов.

Первая составляющая  $\frac{\sum_{k=1}^k T_k^{\Pi}}{\sum_{k=1}^k T_k}$  – коэффициент выполнения плана за каждый пла-

ново-учетный период – отражает процент соответствия планируемых работ объему ритмичного выпуска.

Второй показатель  $\frac{T_k^{\Pi} - \frac{\sum_{k=1}^k T_k}{k}}{\sum_{k=1}^k T_k}$  отражает степень перегрузки плана в том или

ином интервале времени в тех случаях, когда требуется выполнить сверхнормативные работы в целях компенсации потерь ритмичности производства, возникших в предшествующих планово-учетных периодах. Наличие коэффициента перевыполнения плана и его величина напрямую зависят от значения коэффициента выполнения плана. Чем ниже коэффициент выполнения плана, тем в большей степени потребуются проведение дополнительных работ.

Третья часть выражения  $\frac{\sum_{k=1}^k T_k - \frac{\sum_{k=1}^k T_k}{k}}{\sum_{k=1}^k T_k}$  ограничивает степень перевыполнения

плана (второй части формулы) посредством кумулятивного (нарастающего по отрезкам планового периода) учета невыполнения (предшествующих недогрузок) плана с первого по рассматриваемый планово-учетный периоды. Цель такого ограничения – нивелировать стремление к сверхнормативной загрузке (решить все проблемы одним махом с помощью незапланированных авральных работ) в случае возникновения потерь в предшествующих периодах и тем самым обеспечить рациональность использования ресурсов.

Систематический мониторинг ритмичности основан на сопоставлении плановых показателей с фактическими значениями в разрезе каждого планово-учетного периода с целью нейтрализации факторов неопределенности (невыходы производственных рабочих, обнаружение брака и т. п.).

Расчетные значения коэффициента ритмичности стимулируют выполнение плана на основе рационального использования оборудования, рабочих и производственных площадей, но не обязательно свидетельствуют об эффективном использовании оборотных средств.

Динамика коэффициента ритмичности соответствует изменению отклонений от равномерности ресурсов. Рост нарушений приводит к увеличению значения коэф-

фициента ритмичности с 0,913 (4 %) до 0,963 (17 %).

**Длительность оборота трудозатрат.** Средняя длительность одного оборота трудозатрат определена как отношение объема связывания средств в незавершенном производстве к объему выпуска сборочных единиц. Эта величина определяется с первой по рассматриваемую декаду. При этом для расчета величины связывания оборотных средств в незавершенном производстве используются длительности производственного цикла сборочных единиц, полученные в плане.

Связывание средств в незавершенном производстве и величина объема выпуска продукции в каждом планово-учетном периоде в трудовом выражении соответственно могут быть определены как

$$H = \sum_{j=1}^j \sum_{v=1}^v \frac{t_j n_{vj} T_{vj}^u}{2D}; \quad (3)$$

$$T = \sum_{j=1}^j \sum_{v=1}^v \frac{t_j n_{vj}}{D}, \quad (4)$$

где  $m$  – порядковый номер классификационной группы однородных партий предметов;  $j$  – порядковый номер рассматриваемой сборочной единицы;  $v$  – порядковый номер рассматриваемой партии предметов;  $D$  – количество планово-учетных периодов в плановом периоде;  $n_{vj}$  – нормативный размер партии ( $v$ ) сборочной единицы ( $j$ );  $t_j$  – норма времени на сборку сборочной единицы ( $j$ ), норма-часов;  $T_{vj}^u$  – длительность производственного цикла или остаточная длительность цикла сборочной единицы ( $j$ ) партии ( $v$ ), планово-учетных периодов.

Изменение средней длительности одного оборота трудозатрат в производстве по декадам квартала характеризует степень стабильности оборотных средств в условиях построенного календарного плана. Средняя длительность цикла за квартал в целом определяется как средняя величина всех рассчитанных по декадам значений.

Среднеквартальная длительность одного оборота трудозатрат в производстве имеет тенденцию уменьшения с ростом нарушения равномерности. Это происходит за счет сокращения времени межоперационных перерывов. Партии сборочных единиц меньше пролеживают в ожидании их подачи на сборку последующей сборочной единицы, тем самым увеличивая скорость оборота оборотных средств, вложенных в незавершенное внутрицеховое производство.

Максимальные значения длительности оборота трудозатрат (2,76 и 2,77) обеспечиваются при низких величинах отклонений (4 и 6 % соответственно). При этом средняя длительность по декадам возрастает с 1,54 до 3,68 при 10 %. Дальнейший рост отклонений от равномерности стабилизирует среднеквартальные значения в пределах  $2,71 \pm 0,01$  декад.

Использование такой системы показателей оборота трудозатрат (по каждому планово-учетному периоду) обеспечит строгую повторяемость производства и выпуска однородной продукции, что в результате стимулирует эффективное использование ресурсов.

**Потребность в оборотных средствах.** Условная потребность связывания оборотных средств в незавершенном производстве (в экономико-математической модели [3] – целевая функция) определяется по формуле

$$S_{vj} = \frac{\left[ (C_j + C_j^M) \frac{T_{vj}^u}{2} + (k_{vj} - k) C_j \right] n_{vj}}{T_{vj}^u + k}, \quad (5)$$

где  $k$  – порядковый номер текущего планово-учетного периода в плановом периоде;  
 $k_{vj}$  – крайний срок выпуска партии ( $v$ ) предмета ( $j$ ) – планово-учетный период;  
 $C_j$  – производственная себестоимость сборочной единицы ( $j$ ), руб.;;  
 $C_j^M$  – затраты на материалы по сборочной единице ( $j$ ), руб.

Изменение значений условной потребности в оборотных средствах по вариантам непосредственно связано с величиной допустимого отклонения от равномерности использования ресурсов. Увеличение показателя условной потребности в оборотных средствах с 522450,36 руб. (4 %) до 727727,24 (22 %) обусловлено ростом нарушения равномерности. Вследствие снижения равномерности (роста величины допустимых отклонений) появляется возможность в ранних планово-учетных периодах квартала наращивать объем выпуска продукции. Увеличение объемов возможно за счет изготовления более трудоемких партий сборочных единиц или увеличения числа вовлекаемых в производство партий сборочных единиц. А это вызывает рост потребности в оборотных средствах, вложенных в межцеховое незавершенное производство, так как ранее изготовленные на данном участке части одного из изделий будут пролеживать (вследствие их раннего выпуска) в ожидании других узлов и частей этого же изделия, не прошедших сборку или механическую обработку.

**Интегральная оценка.** Интегральная оценка полученного календарного плана может быть получена на основе методов векторной оптимизации, во-первых, при расчете каждого результирующего показателя по декадам квартала (если это необходимо), а во-вторых, при оценке влияния каждого индивидуального показателя оценки на качество разработки календарного плана с целью выбора оптимального варианта.

Решение задачи оптимального выбора основано на нахождении максимального результата совокупной функции полезности (вектор функции) [4, 5]:

$$f^*(a_i) = (f_1(a_i), f_2(a_i) \dots f_j(a_i) \dots f_n(a_i)) \rightarrow \max, \quad (6)$$

где  $f_j(a_i)$  – значение критерия оценки ( $j$ ) по альтернативе ( $a_i$ ).

В целях определения оптимального варианта в процессе принятия решений в условиях неопределенности в первую очередь необходимо привести к единой размерности возможные критерии оценки – провести нормализацию критериев. Предпринимательские цели (критерии) имеют различный масштаб и несопоставимые шкалы (единицы) измерения. Прежде чем приступить к решению многокритериальной задачи, их необходимо привести к одной и той же единице измерения (обычно используются безразмерные величины). Такой процесс приведения критериев в единый вид называется нормализацией.

Среди возможных подходов к оптимизации решения следует выделить следующие принципы оценки.

Метод *равномерной оптимальности* – лучший вариант обеспечивает максимум суммы отдельных значений каждой целевой функции:

$$f^*(a_i) = \sum_{j=1}^n f_j^*(a_i) \rightarrow \max. \quad (7)$$

Исходной посылкой принципа равномерной оптимальности является то, что все подлежащие оценке критерии имеют примерно одинаковое (равноценное) экономическое значение. Основной недостаток сводится к тому, что в некоторых случаях малые значения (низкая степень достижения цели) компенсируются высокими результатами, что в реальной практике приводит к «размыванию» и подмене целевых приоритетов компании.

Метод *справедливого компромисса* – оптимальный вариант определяется на основе максимального значения произведения анализируемых критериев:

$$f^*(a_i) = \prod_{j=1}^n f_j^*(a_i) \rightarrow \max. \quad (8)$$

Такой подход защищает разработанный план от подмены приоритетов, но может привести к потере отдельных планов, которые, несомненно, заслуживают внимания. Так, в проигрыше может оказаться такой вариант плана, который по всем критериям имеет самые высокие значения показателей и лишь по одному критерию – наихудший вариант.

Метод *свертывания критериев* – лучший вариант обеспечивает максимум суммы отдельных значений каждой целевой функции с учетом «веса» критерия, отражающего его значимость в составе оценочных показателей:

$$f^*(a_i) = \sum_{j=1}^n \alpha_j f_j^*(a_i) \rightarrow \max, \quad \sum_{j=1}^n \alpha_j = 1. \quad (9)$$

Основная проблема заключена в выведении достаточно точной экспертной оценки различных показателей в системе координат экономической деятельности предприятия.

Метод *главного критерия* – выбор основан на максимизации наиболее значимого критерия, остальные показатели представлены как ограничения:

$$f_j^* = f_j^*(a) \rightarrow \max, \quad f_j^*(a) \geq L_j, \quad (10)$$

где  $L_j$  – нижняя (верхняя) граница, соответствующая какому-либо предельному значению оцениваемого показателя.

В этом случае в качестве главного критерия оценки следует применить коэффициент ритмичности производства, используя прочие показатели как ограничения.

Метод *равномерного сжатия* – выбор альтернативы базируется на минимизации отклонений от наибольшего значения (идеальной точки):

$$f^*(a_i) = \max_j [f_j^* - f_j^*(a_i)] \rightarrow \min, \quad f_j^* = \max_i f_j^*(a_i). \quad (11)$$

Альтернативный подход основан на том, что анализируется (минимизируется) сумма полученных отклонений по каждому из вариантов.

Метод *ранжирования* – альтернативные варианты оцениваются по соответствию критерия некоему порядковому месту (рангу):

$$f^*(a_i) = \sum_{j=1}^n (f_j^* - f_j^*(a_i)) \rightarrow \min; \quad (12)$$

$$f^*(a_i) = \sum_{j=1}^n r_j(a_i) \rightarrow \max, \quad \text{если } r_j(a_i) = 1, \quad (13)$$

где  $r_j(a_i)$  – ранг (место) критерия ( $j$ ) по альтернативе ( $i$ ).

**Вывод.** Таким образом, в качестве оценочных параметров качества разработки

календарных планов следует использовать совокупность показателей, отражающих уровень обеспечения ритмичности производственной системы:

– отклонения от равномерности (по каждому виду вовлекаемых в процесс производства ресурсов) запланированных объемов от объемов ритмичного выпуска (имеющихся ресурсов);

– средняя длительность одного оборота трудовых затрат в производстве, отражающая равномерность использования ресурсов в трудовом выражении;

– коэффициенты ритмичности по каждому отрезку горизонта планирования, учитывающие и ограничивающие степень «перегрузки» производственной системы и уровень невыполнения плана;

– условная потребность в оборотных средствах в незавершенном производстве, обеспечивающих стабильность размещения и распределения финансовых ресурсов в течение планового периода.

Итоговая оценка и разрешение «конфликта» отдельных показателей основана на принципах оптимизации управленческих решений.

Предлагаемая система оценочных показателей позволяет обеспечить комплексную оценку календарных планов как в процессе их разработки, так и на этапе выполнения производственной программы.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Курляндчик Р.И. Обеспечение ритмичности машиностроительного производства. – Л.: Машиностроение, 1989. – 144 с.
2. Бражников М.А. Анализ влияния величины допустимых отклонений от равномерности на оценочные показатели календарных планов сборочного производства // Организатор производства. – 2002. – № 1. – С. 46-51.
3. Бражников М.А. Моделирование календарных планов сборочных процессов в условиях машиностроительного производства // Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Сер. Физ.-мат. науки. – 2004. – № 26. – С. 165-173.
4. Царев В.В. Внутрифирменное планирование. – СПб.: Питер, 2002. – 496 с.
5. Кузин Б.И., Юрьев В.Н., Шахдинаров Г.М. Методы и модели управления фирмой. – СПб.: Питер, 2001. – 432 с.

*Статья поступила в редакцию 1 октября 2012 г.*

## INTEGRATED ASSESSMENT OF THE MACHINE-BUILDING PRODUCTION OPERATIONAL CALENDAR PLAN

***M. Brazhnikov, E. Safronov***

Samara State Technical University  
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100

*The paper introduces several indices for the integrated operational and calendar production plan assessment: deviation from the resource management uniformity, rhythmicity coefficient, duration of one revolution of labor costs, need for operating assets. The paper represents the general approach to the analysis of alternative variants of calendar production plan on the basis of multi-objective optimization principles.*

**Keywords:** *a day-to-day production planning, rhythmicity of the production, the use of re-sources uniformity, the coefficient of rhythmicity, duration of the revolution of labour expenditures, the need for circulating assets, vector optimization.*

---

*Maksim A. Brazhnikov (Ph.D. (Econ.)), Associate professor.  
Evgeniy G. Safronov (Ph.D. (Econ.)), Senior Lecture.*