

Косенко Евгений Юрьевич – Технологический институт федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге; e-mail: kosenko@tsure.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: 88634371773; кафедра систем автоматического управления; доцент.

Kosenko Evgeniy Yurievich – Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: kosenko@tsure.ru; 44, Nekrasovsky, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371773; the department of automatic control systems; associate professor.

УДК 519.95

О.В. Косенко

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ПОДЗАДАЧ ПРИ КАЛЕНДАРНОМ ПЛАНИРОВАНИИ ПРОИЗВОДСТВА

Рассмотрена задача календарного планирования дискретного производства, заключающаяся в расчете оптимального плана выпуска продукции с учетом основных факторов, влияющих на его объем. В качестве критерия оптимальности календарного плана принимается общий уровень затрат, связанных с выполнением производственного задания. Представлен алгоритм перехода от общей модели к частным, отличающимся условиями-ограничениями. Комплексный учет влияния всех данных ограничений представляет собой одну из актуальных проблем оперативного управления промышленными предприятиями.

Календарное планирование; целевая функция; критерий оптимальности; условия-ограничения, модель.

O.V. Kosenko

DISTRIBUTION OF SEQUENCE OF SUBTASKS AT MANUFACTURE SCHEDULING

The problem of scheduling of the discrete manufacture, consisting in calculation of the optimum output plan taking into account the major factors influencing its volume is considered. As criterion of an optimality of the planned schedule the general level of the expenses connected with performance of production target is accepted. The algorithm of transition from the general model to private, different is presented by conditions-restrictions. The complex account of influence of all given restrictions represents one of actual problems of an operational administration the industrial enterprises.

Scheduling, criterion function; criterion of an optimality; conditions-restrictions; model.

Задачи календарного планирования принадлежат к числу первых прикладных задач, для решения которых были использованы математические методы. Это обусловливалось тем, что отдельные задачи календарного планирования весьма конкретны. Именно высокая степень их конкретизации позволила сформулировать некоторые из элементов оперативно-производственного планирования (ОПП) в виде математических задач, как оказалось, далеко не просто решаемых [1].

Основной задачей планирования производства является расчет оптимального плана выпуска продукции с учетом основных факторов, влияющих на его объем. В зависимости от условий и характера производства к таким факторам можно отнести общественные потребности в данном продукте, наличие сырьевых и энергетических ресурсов, производственные возможности, обеспеченность трудовыми, финансовыми и другими ресурсами. Поэтому разработка комплексов эвристических алгоритмов, для решения задач календарного планирования является весьма актуальной.

В качестве критерия оптимальности календарного плана принимается общий уровень затрат, связанных с выполнением производственного задания. При этом формируемая ниже целевая функция содержит ту часть производственных задач, которая зависит от переменных С-модели [2]. Эти затраты подразделяют на пять групп:

1. D – затраты на непосредственное выполнение деталиеопераций, за исключением оплаты труда операторов.
2. Q – затраты на переналадочные работы.
3. G, \bar{G} – оплата труда и простоя основных производственных рабочих.
4. F_0 – потери от связывания оборотных средств в заделах на операциях, или технологических заделах.
5. H_0 – потери от связывания оборотных средств в межоперационных заделах.

Следовательно критерий оптимальности выражает совокупные затраты C :

$$C = D + Q + G + \bar{G} + F_0 + H_0 \rightarrow \min. \quad (1)$$

Построенная общая модель календарного планирования представляет собой сложную задачу математического программирования. Среди ее неизвестных имеются как действительные непрерывные переменные, так и переменные, принимающие лишь значения 0 и 1 (булевы переменные). Связи между переменными, а также критерий оптимальности нелинейны и, кроме того, описываются при помощи разрывных функций. Все это затрудняет анализ и решение общей задачи, ввиду чего целесообразно разложить общую модель на более простые составные элементы, проанализировать взаимосвязи между ними.

На первом этапе выделим из общей модели ограничения, которые составят δ -модель. Решением δ -модели определяются целочисленные переменные $\delta(k, p; i, u; m, r)$, которыми устанавливается определенное распределение станко- и работо-очереди по деталиеоперациям.

Решение δ -модели может быть достигнуто при помощи чисто логических операций подбора, который назовем δ -алгоритмом. Предварительно необходимо определить для каждого k и каждого m количество элементов множеств $P(k)$ и $R(m)$, т.е. их мощности, которые соответственно обозначим $p(k)$ и $r(m)$. [1].

В частности, анализ δ -алгоритма, показал, что его выполнение может привести к решению, не удовлетворяющему некоторым ограничениям δ -модели. Также при реализации данного алгоритма не учитываются ограничения и критерий оптимальности С-модели, что не может гарантировать получения удовлетворительного решения. Однако, можно утверждать, что при достаточно больших $p(k)$ и $r(m)$ с помощью δ -алгоритма достигается решение δ -модели. Следовательно, δ -алгоритм носит вспомогательный характер для анализа С-модели. Значения величин $\delta(k, p; i, u; m, r)$, полученные в результате действия δ -алгоритма, существенно влияют на решение последующих задач разложения.

На втором этапе разложения учтем ограничения последующим условиям:

- ◆ выполнимости переналадок;
- ◆ очередности работо-очереди;
- ◆ выполнения планового задания по всем деталиеоперациям;
- ◆ использования станков;
- ◆ использования операторов в пределах фонда их рабочего времени в течение планового периода;

Получим модель, которую будем называть Т-моделью. В данной модели учитываются все критерии оптимальности, изложенные выше, кроме H_0 , а ограничения определяются следующим образом:

$$c(k; i, u; j, v) \leq x(k, p), \quad (2)$$

$$Y(k, p) \leq X(l, g). \quad (3)$$

Для каждого перерыва $x(k, p)$ в T -модели записывается только одно ограничение (2), соответствующее переходу от детали операции (i, u) к детали операции (j, v) , определяемому найденным ранее решением δ -модели. Ограничения (3) записываются для станко-очереди (k, p) и (l, g) , в которых участвуют две последовательные работы-очереди одного оператора:

$$\sum_{(k,p)} a(k; i, u)t(k, p) = L(i, u), \quad (4)$$

$$x(k, 0) + \sum_p [t(k, p) + x(k, p)] = T(k) \leq T, \quad (5)$$

$$y(m) + \sum_{(k,p)} t(k, p) = T(m) \leq T. \quad (6)$$

В ограничениях (4) учитываются станко-очереди, в которых выполняется детали операция (i, u) . В ограничениях (6) учитываются станко-очереди, в которых участвует m -й оператор.

Таким образом, выражения для функций, входящих в критерий оптимальности, приобретают следующий вид:

$$D = \sum_{(k,p)} \sum_{(i,u)} d(k; i, u)a(k; i, u)t(k, p), \quad (7)$$

$$G = \sum_{(k,p)} \sum_{(i,u)} \sum_{(m)} g(k; i, u, m)a(k; i, u)t(k, p), \quad (8)$$

$$\bar{G} = \sum_m g(m)y(m), \quad (9)$$

$$F_0 = c \sum_{(k,p)} \sum_{(i,u)} [c(i, u) + 0,5b(i, u)]t(k, p). \quad (10)$$

В (7) суммируются только те выражения, которым соответствует выполнение детали операции (i, u) в станко-очередь (k, p) . Функция Q после подстановки значений δ обращается в постоянную величину. В (8) суммируются члены, которым соответствует участие m -го оператора в выполнении детали операции (i, u) в станко-очередь (k, p) . В (10) суммируются те же члены, что и в D .

Критерий оптимальности T -модели имеет вид

$$C(T) = D + G + \bar{G} + F_0 \rightarrow \min \quad (11)$$

T -задача, по существу, связана с определением временных параметров модели – длительностей станко-очереди $t(k, p)$ и перерывов между ними. Условия (2)–(4) ограничивают эти величины снизу, так как:

- ◆ длительность перерывов должна позволять выполнить переналадку оборудования;
- ◆ станко-очередь не может начаться ранее, чем освободиться оператор, принимающий в ней участие;
- ◆ станко-очереди суммарно должны быть достаточно длительными, чтобы была выполнена программа по детали операциям.

С другой стороны, неравенства (5)–(6) ограничивают те же временные параметры сверху ввиду ограниченного запаса рабочего времени станков и операторов. Если считать величину T и вместе с ней $T(m)$ и $T(k)$ заданными, то может случиться, что T -задача не имеет допустимого решения ввиду недостаточной деятельности планового периода T , в течение которого должна быть выполнена заданная программа. Более правильным будет утверждение, что выполнение планового задания в установленный срок невозможно из-за неудачного организационно-логического плана закрепления станко- и работо-очереди за детали операциями, определяемого выбранным решением δ -задачи.

Таким образом, T -модель естественней рассматривать как параметрическую задачу линейного программирования с параметром T и определять минимальное значение T_0 , при котором существует ее допустимое решение, и затем уже минимизировать критерий оптимальности $C(T)$ (11). Если при этом окажется, что T_0 не превышает заранее установленной длительности планового периода T , то выбранное решение δ -задачи можно считать удачным. Тогда в нашем распоряжении ока-

зывается совокупность решений Т-задачи, варьируя которыми можно достичь лучшего общего результата решения С-модели.

Если T_0 превысит заданное значение T , то следует попытаться найти другое решение δ -задачи либо пойти, если это допустимо, на превышение сроков выполнения планового задания.

Важно отметить, что это относительно простая задача получилась из общей С-модели: а) при известном закреплении станко-очереди и работо-очереди за деталями операциями; б) при отказе от учета условий, налагаемых на функции незавершенного производства, и потерь от связывания оборотных средств в межоперационных заделах.

Расчленение всей задачи на ряд подзадач представляет собой процесс последовательного учета различных факторов, оказывающих влияние на результаты деятельности производственного участка.

В каждой из подзадач во внимание принимается только часть факторов. Остальные либо учтены уже на предыдущем этапе, либо будут учитываться впоследствии.

В δ -задаче учитываются:

- 1) наличный парк станков;
- 2) наличный состав рабочей силы;
- 3) совокупность операций, которые необходимо выполнить;
- 4) возможность осуществления операций на данном станке;
- 5) возможность выполнения операции данным оператором;
- 6) однооператорность и однооперационность;
- 7) одностаночность работо-очереди.

Критерия оптимальности δ -задаче нет.

В δ -задаче определяются:

- 1) закрепление станко-очереди за деталями операциями;
- 2) закрепление работо-очереди за обслуживанием станко-очереди и выполнением деталями операций.

Закреплением станко-очереди и работо-очереди определяется последовательность выполнения станками и операторами.

Таким образом, δ -задача, по существу, охватывает почти всю логическую структуру организационного плана выполнения установленного задания.

В δ -задаче учитываются:

- 1) решение δ -задачи, т.е. закрепление станко-очереди и работо-очереди за деталями операциями;
- 2) длительность переналадок;
- 3) плановые задания по изделиям, операциям;
- 4) запас машинного времени станков;
- 5) запас рабочего времени операторов;
- 6) необходимость чередования работо-очереди по различным операциям;
- 7) календарный период, который может рассматриваться как переменный параметр δ -задачи.

В качестве критерия в Т-задаче принимается сумма затрат на выполнение операций на закрепленных станках и закрепленными операторами, а также потери от связывания оборотных средств и технологических заделов. Все они выражаются линейно через длительности станко-очереди и перерывов между ними.

В Т-задаче определяются:

- 1) длительность станко-очереди;
- 2) длительность перерывов между станко-очередями и работо-очередями;
- 3) минимальный календарный период, в течение которого выполняемая заданная программа.

В различных моделях календарно-плановых задач используются разнообразные критерии оптимальности, содержание которых определяется ролью и местом той или иной частной календарной задачи в системе оперативно-производственного планирования. В общей теории ОПП выработан ряд положений, на основе которых сформированы критерии оптимальности частных задач календарного планирования.

В наиболее широко используемых и достаточно обоснованных критериях решения отдельных оперативно-календарных задач отражаются следующие показатели деятельности производственных подразделений:

- 1) использование оборудования для выполнения производственных операций;
- 2) затраты на непроизводительное использование оборудования (переналадка);
- 3) использование трудовых ресурсов;
- 4) групповой производственный цикл;
- 5) время пролеживания деталей;
- 6) стоимость незавершенного производства;
- 7) отклонения от установленных сроков изготовления деталей.

Все другие возможные критерии являются, по существу, деталезацией одного или нескольких из указанных. При решении частной задачи оперативно-календарного планирования возможен выбор одного из данных критериев. При построении же общей модели оперативно-календарного планирования необходимо сконструировать критерий оптимальности, являющийся обобщением частных критериев. С этой целью надлежит выявить общую сущность всех указанных выше критериев.

Проблема влияния различных мер по совершенствованию оперативного планирования на экономические показатели деятельности предприятия изучена достаточно полно. Вместе с тем можно отметить некоторую разрозненность результатов этих исследований. Отдельные элементы оперативного планирования воздействуют в различной мере и в различных направлениях на те или иные экономические показатели работы предприятия. Комплексный учет влияния всех основных факторов оперативного планирования представляет собой одну из актуальных проблем совершенствования управления промышленными предприятиями. Как последовательное развитие данного подхода возникает вопрос экономического критерия оптимальности, выдвигаемый математическим моделированием оперативно-календарного планирования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Смоляр Л.И.* Модели оперативного планирования в дискретном производстве. – М.: Наука, 1978. – 316 с.
2. *Косенко О.В.* Задача внутрицехового планирования загрузки оборудования при нечетком задании исходных параметров. Материалы Всероссийской научной конференции "Перспективы развития гуманитарных и технических систем". Ч. 1. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2011. – С. 29-32.
3. *Козлова О.В.* Совершенствование управления промышленным производством. – М.: Экономика, 1983. – 248 с.
4. *Татевосов К.Т.* Основы оперативно-производственного планирования на машиностроительном предприятии. – М.: Машиностроение, 1965. – 346 с.
5. *Терехов Л.П.* Оптимальное оперативно-календарное планирование. – Киев: УкрНИИНТИ, 1971. – 298 с.
6. *Косенко Е.Ю., Макаров С.С., Финаев В.И.* Методы моделирования и проектирования распределенных информационно-управляющих систем. – Ростов-на-Дону.: Изд-во Рост. ун-та, 2004. – 203 с.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.Е. Золотовский

Косенко Олеся Валентиновна – Технологический институт федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге; e-mail: O_kosenko@mail.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: 88634371689; кафедра систем автоматического управления; аспирантка.

Kosenko Olesya Valentinovna – Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: O_kosenko@mail.ru; 44, Nekrasovsky, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371689; the department of automatic control systems; postgraduate student.

УДК 519.816

Е.С. Никул

АЛГОРИТМ АНАЛИЗА МАТРИЦ ПАРНЫХ СРАВНЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ВЫЧИСЛЕНИЯ ВЕКТОРОВ ПРИОРИТЕТОВ

Рассматривается: алгоритм анализа матриц парных сравнений с помощью вычисления векторов приоритетов, его достоинства и недостатки, сравниваются два метода оценки: с использованием шкалы относительной важности и путем вычисления соотношений на основе заданных значений, осуществляются расчеты по определению относительных приоритетов факторов и значение согласованности оценок, даются примеры вычисления векторов приоритетов матрицы парных сравнений.

Метод парных сравнений; анализ матрицы парных сравнений; вычисление собственных векторов; алгоритм вычисления векторов приоритетов; относительные величины характеристик важности; достоверность результатов.

E.S. Nickul

ALGORITHM FOR ANALYZING MATRICES OF PAIRWISE COMPARISONS BY CALCULATING VECTORS OF PRIORITIES

In article it is considered: an analysis algorithm of matrixes of pair comparisons by means of calculation of vectors of priorities, its merits and demerits, are compared two methods of an estimation: with use of a scale of relative importance and by calculation of parities on the basis of preset values, calculations by definition of relative priorities of factors and value of a coordination of estimations are carried out, examples of calculation of vectors of priorities of a matrix of pair comparisons are given.

Method of paired comparisons; analysis of the matrix of pairwise comparisons; the computation of eigenvectors; an algorithm for calculating vectors of priorities; the relative values of the characteristics of importance; the reliability of the results.

Основным элементом для представления интенсивности взаимовлияния факторов является матрица парных сравнений. Факторы, находящиеся на одном уровне обладают одинаковыми наборами показателей. Значения этих показателей для каждого фактора различные. Конечной целью сравнения факторов – выяснить их рейтинг среди рассматриваемого множества, причем, *рейтинг* стремятся получить в виде количественной индивидуальной оценки. Сначала рассматривают факторы, находящиеся на самом нижнем уровне (альтернативы) и попарно сравнивают друг с другом. При сравнении пары факторов исследователь стремится установить насколько один фактор лучше (хуже) другого, что выражается установлением количественной оценки. Просмотрев все сочетания возможных пар факторов, и установив между ними оценки взаимного влияния, исследователь получает матрицу парных сравнений.