

ТАКТИЧЕСКОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА ПРИ НЕЧЕТКИХ ЦЕЛЯХ И ОГРАНИЧЕНИЯХ

Федосеев С.А., Вожаков А.В., Гитман М.Б.

Пермский государственный технический университет

614600, г.Пермь, Комсомольский пр., 29 а

Тел.: (342) 2391297, 2391648. E-mail: gmb@matmod.pstu.ac.ru

Рассматривается модель календарного планирования производства с нечеткими целями и ограничениями. Модель базируется на применении теории нечетких множеств. В качестве тестового примера был рассмотрен реальный ГКПП производства продукции на предприятии ООО «Завод СДМ», г.Пермь.

Введение

В условиях рыночных отношений наблюдается тенденция к ужесточению внутриотраслевой конкуренции, когда каждый участник рынка стремится привлечь клиента наиболее выгодным предложением. Таким предложением может быть минимальная цена и/или минимальные сроки поставки продукции. Для сокращения сроков поставки продукции планирование производства должно быть направлено на обеспечение основных принципов рациональной организации рабочих процессов [1] таких, как параллельность, пропорциональность, непрерывность и прямолинейность.

Вся система производственного планирования может быть разделена на три структурных уровня: уровень стратегического планирования (результатом является построение главного календарного плана производства - ГКПП), уровень тактического планирования (на основе составленного ГКПП, с использованием более детальной информации о производственных мощностях, строится план-график производства, устанавливающий перечень, очередность и длительность операций на рабочих центрах в течение планового периода) и уровень оперативного планирования (результатом является формирование сменно-суточных заданий) [2,3].

Особенно остро проблема планирования стоит на тактическом уровне. С момента получения ГКПП до формирования сменно-суточных заданий требуется решить задачу оптимального распределения нагрузки на рабочие центры таким образом, чтобы выполнялось условие реализуемости ГКПП при соблюдении принципов параллельности, пропорциональности, непрерывности и прямолинейности производства.

В данной работе предложена модель планирования производства на тактическом уровне, учитывающая нечеткость некоторых параметров и ограничений, а при необходимости и целей.

Пусть процесс производства осуществляется в нескольких цехах, каждый из которых содержит в себе определенное множество рабочих центров. Все рабочие центры разделены на типы. Типы рабочих центров пронумеруем индексом $k \in \overline{1, E}$, где E – общее количество типов рабочих центров. Введем вектор $\bar{q} = (q_1, q_2, \dots, q_\tau)$, где q_k – количество рабочих центров k -го типа, имеющих на производстве. Будем считать, что все q_k рабочих центров k -го типа находятся в одном цехе.

Максимальная загрузка каждого рабочего центра ограничена некоторым количеством часов в календарный день, обычно это одна или две смены по 8 часов. Будем измерять время загрузки рабочих центров в сменах и положим, что максимальная загрузка всех рабочих центров k -го типа одинакова и равна t_k^* смен. Если $t_k^* > 1$, то возможны сверхурочные работы. Если учесть, что на практике максимальная загрузка рабочих центров может варьироваться, т.е. является нечеткой, то ее можно определить с помощью нечетких чисел вида

$$Z_k = \{ \mu(z_{k1})/z_{k1}; \mu(z_{k2})/z_{k2}; \dots; \mu(z_{kv})/z_{kv} \},$$

где z_{kh} , $h = \overline{1, v}$, – количество рабочих смен, ограничивающих максимальную загрузку рабочих центров k -го типа, $\mu(z_{kh})$, $h = \overline{1, v}$, – функция принадлежности, которую содержательно можно интерпретировать как степень убежденности экспертов в допустимости такого ограничения.

Спецификации для всех видов готовой продукции заданы, поэтому может быть составлен единый перечень всех номенклатурных единиц от материалов до готовых изделий, включая полуфабрикаты. В этом перечне каждой номенклатурной единице присваивается уникальный номер $i \in \overline{1, C}$, где C – суммарное количество уникальных номенклатурных единиц во всех спецификациях. Номенклатурный перечень может быть отсортирован таким образом, чтобы вначале располагались изготавливаемые полуфабрикаты и готовые изделия с номерами $1 \leq i \leq N$, $N < C$, а затем закупаемые материалы с номерами $N < i \leq C$.

Для описания состава изготавливаемых номенклатурных единиц введем матрицу применимости A . Ее элементы a_{ij} определяют количество номенклатурных единиц (компонентов) с номерами $i \in \overline{1, C}$, необходимых для производства номенклатурных единиц с номерами $j \in \overline{1, N}$.

Известен главный календарный план производства, описывающий план, исходя из номенклатурных позиций независимого спроса (что производить, когда производить, сколько производить). Для описания главного календарного плана производства введем матрицу g . Ее элементы g_{id} определяют количество номенклатурных единиц (компонентов) с

номера $i \in \overline{1, C}$, которые необходимо произвести в день с номером $d \in \overline{1, T}$, где T – количество дней в плановом периоде

Технологические маршруты, описывающие способ производства каждой изготавливаемой номенклатурной единицы, считаются заданными. Технологический маршрут содержит информацию об операциях и их последовательности. В данной работе на технологический маршрут накладывается дополнительное ограничение: все операции технологического маршрута должны выполняться на рабочих центрах одного цеха. При этом модель применима и для предприятий использующих в работе многоцеховые технологические маршруты. Необходимо только разбить такие маршруты на несколько одноцеховых этапов. Для удобства далее будем называть технологические маршруты, выполняемые в рамках одного цеха, *технологическими этапами*.

Для каждой изготавливаемой номенклатурной единицы должен быть определен технологический этап ее изготовления. Чтобы произвести i -ю номенклатурную единицу в количестве n_i , необходимо n_i раз выполнить технологический этап i -го вида. Введем вектор $\bar{n} = (n_1, n_2, \dots, n_N)$, где n_i – количество запланированных технологических этапов вида $i \in \overline{1, N}$, фактически данный вектор является разузлованным аналогом ГКПП.

Для каждого технологического этапа определен набор технологических операций (далее *операции*), которые должны быть выполнены для того, чтобы технологический этап считался завершенным. Таким образом, определен вектор $\bar{w} = (w_1, w_2, \dots, w_N)$, где w_i – количество операций в технологическом этапе вида $i \in \overline{1, N}$.

Вид операции идентифицируется следующим набором данных: номер операции, номер номенклатурной единицы, тип рабочего центра, трудоемкость. Поэтому общее количество видов операций можно определить по формуле $W = \sum_{i=1}^N w_i$.

Виды операций пронумеруем индексом $l \in \overline{1, W}$. Все операции можно отсортировать по номеру технологического этапа, а затем по номеру операции внутри технологического этапа. Введем вектор $\bar{o} = (o_1, \dots, o_{w_1}, o_{w_1+1}, \dots, o_{w_1+w_2}, \dots, o_W)$, где o_l – количество операций, которые необходимо выполнить в плановом периоде, $l \in \overline{1, W}$. Также введем последовательность чисел s_1, \dots, s_N , где s_i определяет значение индекса l для первой операции i -го технологического этапа, тогда числа s_i могут быть определены по формуле

$$s_i = \begin{cases} 1, & i = 1 \\ s_{i-1} + w_{i-1}, & i \in \overline{2, N} \end{cases}$$

Отметим, что значение индекса l для последней операции i -го технологического этапа можно определить следующим образом $s_i + w_i - 1$.

Будем считать, что для каждой операции, входящей в состав технологического этапа i -го вида, $o_l = n_i$, где $l \in \overline{s_i, s_i + w_i - 1}$.

Введем вектор трудоемкость операций $\bar{t} = (t_1, t_2, \dots, t_W)$, где t_l – трудоемкость операции l -го вида, выраженная в рабочих сменах, $t_l \in [0; 1]$, $l \in \overline{1, W}$.

Введем вектор $\bar{e} = (e_1, e_2, \dots, e_W)$, где $e_l \in \overline{1, E}$, $l \in \overline{1, W}$, который определяет, на рабочих центрах какого типа выполняется операция l -го вида.

Считается заданным вектор $\bar{r} = (r_1, r_2, \dots, r_C)$, где r_i – остаток i -ой номенклатурной единицы на цеховых складах на начало планового периода, $i \in \overline{1, C}$.

Известен общий объем операций, которые необходимо оптимальным образом распределить по рабочим сменам и рабочим центрам при соблюдении ограничений. В этом и заключается задача планирования производства на тактическом уровне.

Для описания плана производства введем матрицу \mathbf{P} . Ее элементы p_{ld} определяют количество операций l -го вида, запланированных на день с номером d , $l \in \overline{1, W}$, $d \in \overline{1, T}$, где T – количество дней в плановом периоде, т.е. без нарушения общности предполагается, что предприятие работает в одну смену. Если предприятие работает в две или три смены, то T будет обозначать количество смен в плановом периоде. Фактически матрица \mathbf{P} является планом-графиком производства, поэтому определение ее элементов p_{ld} и будет решением задачи.

Введем матрицу баланса номенклатурных единиц \mathbf{B} . Ее элементы b_{id} определяют количество номенклатурных единиц с номерами $i \in \overline{1, C}$, находящихся на цеховых складах на конец дня с номером $d \in \overline{0, T}$, значение индекса $d = 0$ используется в матрице баланса для определения остатков номенклатурных единиц на начало планируемого периода. Также матрица зависит от ГКПП, в дни, когда запланирован выпуск продукции, происходит автоматическая отгрузка готовой продукции со склада. Элементы матрицы \mathbf{B} можно определить следующим образом:

$$b_{id} = \begin{cases} r_i, & i \in \overline{1, C}, d = 0 \\ b_{id-1} + p_{s_i+w_i-1,d} - g_{id} - \sum_{j=1}^N p_{s_j,d} a_{ij}, & i \in \overline{1, N}, d \in \overline{1, T} \\ b_{id-1} - \sum_{j=1}^N p_{s_j,d} a_{ij}, & N < i \leq C, d \in \overline{1, T} \end{cases} \quad (1)$$

Здесь учтено предположение о том, что произведенное количество i -ой номенклатурной единицы совпадает с количеством выполнений последней операции i -го технологического этапа.

Очевидно, что при составлении плана-графика производства должны учитываться следующие ограничения:

1. Суммарное количество операций одного вида в плане-графике должно быть равно общему количеству операций данного вида, которые необходимо выполнить в плановом периоде согласно ГКПП. Математически данное ограничение может быть представлено в следующем виде

$$\sum_{d=1}^T p_{ld} = o_l \text{ для всех } l \in \overline{1, W}. \quad (2)$$

2. В каждый из планируемых дней, максимальная загрузка рабочих центров не должна превышать максимально возможную загрузку. Математически данное ограничение может быть представлено в следующем виде

$$\sum_{l=1}^W p_{ld} t_l \beta_{lk} \leq t_k^* q_k \text{ для всех } d \in \overline{1, T}, \quad (3)$$

$$\text{где } \beta_{lk} = \begin{cases} 1, & e_l = k \\ 0, & e_l \neq k \end{cases}, l \in \overline{1, W}, k \in \overline{1, E}.$$

Отметим, что максимально возможная загрузка может быть определена нечетко.

В любой момент времени остаток номенклатурных единиц не может быть отрицательным. Математически данное ограничение может быть представлено в следующем виде

$$b_{id} \geq 0, \text{ для всех } i \in \overline{1, C}, d \in \overline{0, T}. \quad (4)$$

Введем три основных критерия оптимальности плана-графика производства:

1. Критерий комфортности производства, т.е. план-график производства должен быть скомпонован таким образом, чтобы операции одного вида запускались в производство как можно большими партиями, в этом случае не потребуется переналадка

оборудования при переходе от выполнения одной операции к другой. Математически данный критерий может быть представлен в следующем виде

$$J_1 = \sum_{l=1}^W \sum_{d=1}^T \beta_{ld} \rightarrow \min, \text{ где } \beta_{ld} = \begin{cases} 1, p_{ld} \neq 0 \\ 0, p_{ld} = 0 \end{cases}. \quad (5)$$

В приведенном критерии учтено вполне очевидное утверждение о том, что чем большими партиями операции одного вида будут запускаться в производство, тем меньше будет ненулевых элементов p_{ld} матрицы \mathbf{P} , образно говоря, план-график будет нарезан меньшими кусочками, и тем меньше, следовательно, будет сумма булевых переменных β_{ld} .

2. Производство должно быть непрерывным, т.е. нагрузка на рабочие центры должна быть как можно ближе к максимальной. Введение данного критерия обусловлено экономическими соображениями, за вынужденные простои рабочие также получают заработную плату. Математически данный критерий может быть представлен в следующем виде

$$J_2 = \sum_{l=1}^W \sum_{d=1}^T \sum_{k=1}^E |p_{ld} t_l \beta_{lk} - t_k^* q_k| \rightarrow \min, \quad (6)$$

$$\text{где } \beta_{lk} = \begin{cases} 1, e_l = k \\ 0, e_l \neq k \end{cases}.$$

3. Срок изготовления ГКПП должен быть минимальным. При этом ГКПП считается выполненным только в том случае, если все операции завершены, т.е. дата совершения последней операции и будет являться сроком исполнения всего ГКПП. Математически данный критерий может быть представлен в следующем виде

$$J_3 = \max_{d \in \overline{1, T}} \tau(d) \rightarrow \min, \quad (7)$$

$$\text{где } \tau(d) = \begin{cases} d, \sum_{l=1}^W \sum_{u=d}^T p_{lu} = 0 \\ 0, \sum_{l=1}^W \sum_{u=d}^T p_{lu} \neq 0 \end{cases}.$$

На основе предложенных частных критериев может быть введен обобщенный критерий оптимальности с использованием расширенного нечеткого множества [5].

Таким образом, математическая постановка задачи составления оптимального плана-графика производства может быть представлена в следующем виде: найти элементы p_{ld} , $l \in \overline{1, W}$, $d \in \overline{1, T}$, матрицы \mathbf{P} , доставляющие минимум одному из частных критериев J_1 , J_2 , J_3 ,

определенных выражениями (5)-(7), или обобщенному критерию J , определенному выражением (8), с учетом ограничений (1)-(4).

Ввиду сложности поставленной задачи, ее точное решение для реальных производственных данных не может быть найдено. Поэтому была предложена методика позволяющая находить календарные планы производства, удовлетворяющие ограничениям задачи и близкие к оптимальным. Методика представляет из себя набор алгоритмов, последовательное выполнение которых позволяет отыскать близкий к оптимальному календарный план, с учетом приоритетов выставленных со стороны менеджмента предприятия. Методика учитывает все три критерия оптимальности календарного плана, более того учитывается нечеткое соотношение между критериями (что позволяет учитывать тот или иной критерий с определенным приоритетом).

В качестве тестового примера был взят реальный ГКПП производства продукции на предприятии ООО «Завод СДМ». С помощью АСТПП был найден план-график производства, позволяющий произвести необходимое количество продукции за 18 дней вместо 22-х дней по плану-графику, составленному экспертами предприятия. На рис. 1 изображена диаграмма выполнения технологических этапов за каждый рабочий день планового периода согласно найденному плану-графику производства. На рис. 2 изображена диаграмма загрузки оборудования, отображающая процент загрузки оборудования за каждый рабочий день планового периода. На диаграмме представлены расчетные данные и данные полученные от диспетчерского отдела предприятия. Очевидно, что найденный план-график производства обеспечивает существенно большую загрузку оборудования по сравнению с планом-графиком, предложенным экспертами предприятия.

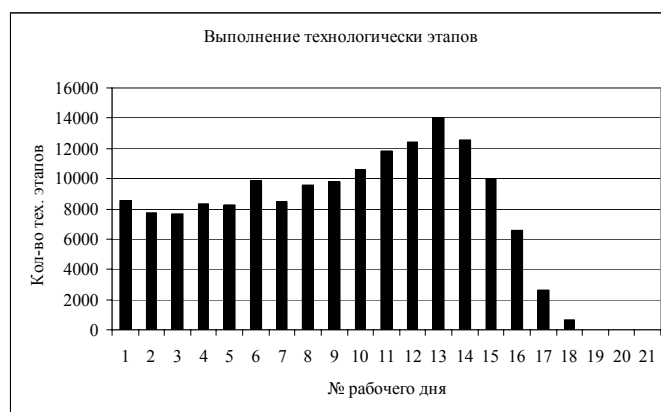


Рис. 1. Диаграмма выполнения технологических этапов по рабочим дням планового периода

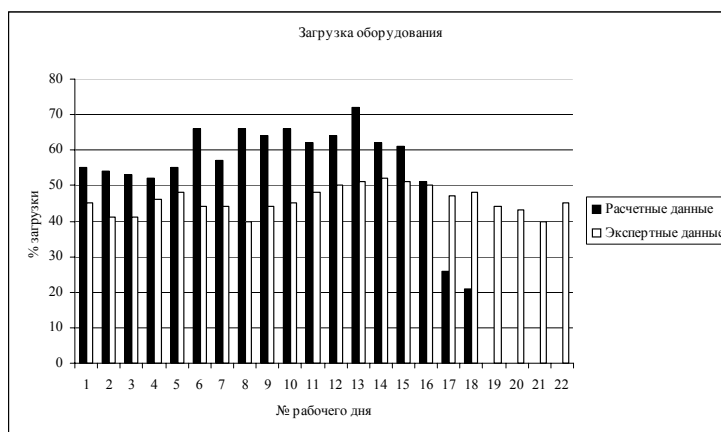


Рис. 2. Диаграмма загрузки оборудования

Таким образом, разработанная система, способна обеспечить более короткие сроки производства требуемого объема продукции при максимально возможной загрузке имеющихся мощностей. Система позволяет строить планы производства с учетом критерия комфортности производства.

Библиографический список

1. Производственный менеджмент / Под ред. В.А. Козловского. – М.: ИНФРА-М, 2003. – 574 С.
2. Столбов В.Ю., Федосеев С.А. Модель интеллектуальной системы управления предприятием // Проблемы управления.- 2006.- №5. - С.36-39.
3. Гаврилов Д.А. Управление производством на базе стандарта MRP II. – СПб.: Питер, 2002.
4. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений. / А.Н. Борисов, А.В. Алексеев, Г.В. Меркурьева и др. - М.: Радио и связь, 1989. - 304 с.