

ЗАДАЧА УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ МОЩНОСТЬЮ КРУПНОГО АВИАСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ПРИ ЗНАЧИТЕЛЬНОМ СНИЖЕНИИ СПРОСА НА ВЫПУСКАЕМЫЕ ИЗДЕЛИЯ

© 2002 К.А. Баландин

Самарский государственный аэрокосмический университет

Статья посвящена проблеме обеспечения рентабельного функционирования крупного авиастроительного предприятия в условиях низкого спроса на выпускаемые изделия. Построена экономико-математическая модель, позволяющая количественно оценивать решения, по управлению производственной мощностью с целью снижения общих затрат. Модель представлена в виде задачи дискретной нелинейной оптимизации. Предложен метод динамического программирования для ее решения.

Введение. На этапе переходной экономики произошло значительное снижение спроса на изделия крупных авиастроительных предприятий России, которое привело к возникновению проблемы избыточной производственной мощности (ПМ), ложащейся дополнительным бременем на себестоимость выпускаемых изделий. Ликвидация или наращивание ПМ с целью ее адаптации к спросу требует многовариантного анализа. При этом эффективное управление ПМ предприятия предполагает взаимосвязку следующих факторов:

- результатов анализа и прогнозной оценки динамики рынка выпускаемых изделий;
- прогнозируемых объемов продаж и обеспечивающих их объемов производства;
- стратегий удержания рынка;
- объемов использования мощностей, обеспечивающих необходимый объем производства;
- динамику текущего поддержания, уменьшения и наращивания потенциала мощности;
- учета динамики затрат на обслуживание текущих, простаивающих и резервных мощностей.

Имеющиеся работы по управлению производственной мощностью предприятия моделируют управление ПМ с целью повышения рентабельности предприятия в условиях технического прогресса и стабильного или развивающегося рынка. При низком спросе на выпускаемые изделия основным направлением обеспечения рентабельности производства становится снижение затрат за счет эффективного управления имеющейся ПМ. В этом направлении вопрос эффективного управления ПМ недостаточно исследован.

В данной работе осуществляется экономико-математическое моделирование управления ПМ, учитывающее перечисленные выше факторы и направленное на снижение общих затрат предприятия при выполнении заданной производственной программы.

Построение модели. Производственная мощность предприятия представляет собой сложное системное понятие, обладающее закономерной управляемой динамикой и состоящее из трех составных частей: текущая (используемая) мощность, избыточная (простаивающая) мощность, резервная мощность. В производственном менеджменте используются также понятия освоенной и фактической ПМ. Освоенная мощность объединяет все три указанных составных части, а фактическая - используемую и простаивающую мощность. Производственная мощность авиастроительных предприятий измеряется в единицах изделий.

Управление ПМ будем рассматривать на этапе низкого спроса на выпускаемые изделия, длительностью mT , где T - период функционирования предприятия, в течение которого фактическая ПМ остается постоянной, а m - количество периодов функционирования. Длительность периода функционирования T принимается равной

длительности производственного цикла изготовления изделия. Фактическую ПМ предприятия на i -ом периоде функционирования обозначим через N_i ($i=1,2,\dots,m$). Будем считать, что к началу этапа низкого спроса освоенная ПМ предприятия равна фактической и достигла значения N_0 изделий за период T , соответственно резервная мощность равна нулю. Полагаем также, что на протяжении всего этапа $m \cdot T$ фактическая ПМ не может превышать значения N_0 , т.е. $N_i \leq N_0$ ($i=1,2,\dots,m$). Величина фактической ПМ N_m в конце этапа $m \cdot T$ может задаваться по-разному, в зависимости от выбранной стратегией поведения.

Кроме того, полагаем, что управление ПМ осуществляется на основе имеющейся у предприятия программы выпуска изделий в каждом периоде функционирования в течение этапа $m \cdot T$, которую обозначим вектором $Q=(q_1, q_2, \dots, q_m)$. Данная производственная программа на этапе низкого спроса в основном определена стратегией удержания рынка и формируется предприятием на базе имеющихся заказов.

В течение i -го периода функционирования фактическая ПМ предприятия N_i делится на используемую и простаивающую. Долю используемой ПМ на i -ом периоде функционирования ($i=1,2,\dots,m$) обозначим через ρ_i .

Полагаем, что в начале каждого i -го периода функционирования предприятие характеризуется определенной величиной незавершенного производства, которую обозначим вектором $K_i=(k_{1,i}, k_{2,i}, \dots, k_{N_0,i})$, где $k_{j,i} \in [0, 1]$ – коэффициент технической готовности j -го изделия в начале i -го периода функционирования ($j=1,2,\dots,N_0$). Считаем при этом, что количество изделий в незавершенном производстве всегда равно освоенной мощности предприятия N_0 . Размерность вектора K_i всегда равна N_0 за счет включения в вектор K_i коэффициентов готовности равных нулю, соответствующих отсутствующим изделиям.

Управление ПМ заключается в нахождении на каждом i -ом периоде функционирования ($i=1,2,\dots,m$) таких $\Delta n_i = (N_i - N_{i-1})$ и ρ_i , при которых выполнение производственной программы осуществляется с минимальными общими затратами. Здесь Δn_i – изменение фактической ПМ на i -ом периоде функционирования, мгновенно осуществляемое в начале периода. Величина Δn_i может принимать как положительное, так и отрицательное целочисленное значение на отрезке $[N_i, N_0, N_i]$. Положительное значение Δn_i говорит о выводе соответствующей величины ПМ из резервной в фактическую, и отрицательное – о переводе из фактической в резервную.

Рассмотрим затраты на функционирование предприятия в течение этапа низкого спроса $m \cdot T$. Эти затраты делятся на:

- затраты, связанные с управлением ПМ,
- затраты на содержание освоенной ПМ,
- затраты на производство изделий.

Управление ПМ в i -ом периоде функционирования предполагает следующие затраты:

- затраты, связанные с переводом ПМ из фактической в резервную – $Z_i^0 \cdot e \cdot |\Delta n_i|$, где e – затраты, на перевод единицы ПМ из фактической в резервную,
- затраты, связанные с переводом ПМ из резервной в фактическую – $Z_i^0 \cdot d \cdot \Delta n_i$, где d – затраты на перевод единицы ПМ из резервной в фактическую.

Затраты на содержание освоенной ПМ в i -ом периоде функционирования включают в себя:

- затраты, связанные с содержанием фактической ПМ – $Z_i^0 \cdot c \cdot N_i = c \cdot \left(N_0 + \sum_{t=1}^i \Delta n_t \right)$,

где c – затраты на содержание единицы фактической ПМ;

- затраты, связанные с содержанием резервной ПМ – $Z_i^0 \cdot r \cdot \left| \sum_{t=1}^i \Delta n_t \right|$, где r – затраты

на содержание единицы резервной ПМ.

Затраты на производство изделий в i -ом периоде функционирования определяются следующим образом:

$$Z_i^n = a_{-i} \cdot N_i = a_{-i} \cdot \left(N_0 + \sum_{l=1}^i \Delta n_l \right),$$

где a - норматив прямых затрат на производство изделий.

Так как критерием принятия решений по управлению ПМ выступают затраты на функционирование предприятия в течение этапа низкого спроса m -Т, то целевая функция $Z(\Delta n, \rho)$ будет выглядеть следующим образом:

$$Z(\Delta n, \rho) = \sum_{i=1}^m (Z_i^0 + Z_i^B + Z_i^P + Z_i^F + Z_i^n) \rightarrow \min$$

Подставляя выражения для всех видов затрат, получим окончательный вид целевой функции:

$$Z(\Delta n, \rho) = \sum_{i=1}^m [e^{-i} \Delta n_i + d \cdot \Delta n_i + c \cdot \left(N_0 + \sum_{l=1}^i \Delta n_l \right) + r \cdot \left(\sum_{l=1}^i \Delta n_l \right) + a_{-i} \cdot \left(N_0 + \sum_{l=1}^i \Delta n_l \right)] \rightarrow \min$$

где $\Delta n = (\Delta n_1, \Delta n_2, \dots, \Delta n_m)$, $\rho = (\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_m)$. При этом должны выполняться следующие ограничения:

- $N_i \in \{0, N^1, N^2, \dots, N^k\}$, т.е. $(N_0 + \sum_{l=1}^i \Delta n_l) \in \{0, N^1, N^2, \dots, N^k\}$, $i=1, 2, \dots, m$;
- $\rho_i \cdot \left(N_0 + \sum_{l=1}^i \Delta n_l \right) = q_i - \sum_{j=1}^{N_0} k_{j,i} + \left(\sum_{j=1}^{N_0} k_{j,i+1} - \sum_{j=q_i+1}^{N_0} k_{j,i} \right)$, $i=1, 2, \dots, m$;
- $\rho_i \in \{0, 0.01, 0.02, \dots, 1\}$;
- $q_i = \text{const}$ ($i=1, 2, \dots, m$), $q_i \geq 0$; $N_0, N_m, e, d, c, r = \text{const}$, $N_0, N_m, e, d, c, r \geq 0$; $k_{j,i} \in [0, 1]$, $k_{j,i} = \text{const}$, $j=1, 2, \dots, N_0$; $N^1, N^2, \dots, N^k = \text{const}$, $N^1, N^2, \dots, N^k > 0$.

Поясним смысл второго и третьего ограничений. Второе ограничение отражает тот факт, что используемая ПМ, которой располагает предприятие на i -ом периоде функционирования, задействуется на выполнение производственной программы q_i с учетом величины имеющегося в начале этого периода незавершенного производства - $\sum_{j=1}^{N_0} k_{j,i}$, и на доработку оставшихся в незавершенном производстве и переходящих на следующий период изделий, что приводит к изменению их коэффициентов технической готовности - $\left(\sum_{j=1}^{N_0} k_{j,i+1} - \sum_{j=q_i+1}^{N_0} k_{j,i} \right)$. Третье ограничение вытекает из того, что величина ρ имеет смысл доли загрузки производственной мощности и на практике измеряется в процентах.

В качестве переменных модели выступают Δn_i , ρ_i , $k_{j,i}$ ($i=1, 2, \dots, m$; $j=1, 2, \dots, N_0$). Среди них Δn_i и ρ_i являются независимыми переменными, а $k_{j,i}$ - слабыми.

Метод решения. Построенная задача относится к классу задач нелинейного дискретного программирования, так как целевая функция является нелинейной и второе ограничение представляет собой нелинейное уравнение.

Учитывая то, что управление ПМ представляет собой совокупность последовательно принимаемых решений об изменении ПМ на каждом i -ом периоде функционирования, то решать поставленную задачу будем методом динамического программирования.

Опишем состояние предприятия на i -ом периоде функционирования кортежем s_i , вида:

$$s_i = \langle N_i, K_i \rangle, \quad i=1,2,\dots,m$$

где $s_i \in S_i$ - множества возможных состояний, в одном из которых может оказаться предприятие на i -ом периоде.

В качестве особых выделим известные состояния предприятия в начале и в конце этапа $m \cdot T$: $s_0 = \langle N_0, K_0 \rangle$ и $s_m = \langle N_m, K_m \rangle$. При этом $S_0 = \{s_0\}$, $S_m = \{s_m\}$.

Управление ПМ на i -ом периоде функционирования определим кортежем вида:

$$u_i = \langle \Delta n_i, \rho_i \rangle$$

По условию задачи Δn_i и ρ_i дискретны, а множества их допустимых значений конечны. Следовательно, $u_i \in U_i = \{u_i^1, u_i^2, \dots, u_i^{h_i}\}$, где h_i - количество допустимых управлений на i -ом периоде. Очевидно, что и множества S_i ($i=1,2,\dots,m$) также конечны, т.е. $S_i = \{s_i^1, s_i^2, \dots, s_i^{g_i}\}$, где g_i - количество возможных состояний на i -ом периоде.

Таким образом, процесс функционирования предприятия на этапе $m \cdot T$ представляет собой последовательный переход из состояния $s_{i-1} \in S_{i-1}$ в состояние $s_i \in S_i$ в результате принятия решения об изменении величины фактической ПМ - Δn_i , и о доле используемой фактической мощности ρ_i на i -ом периоде функционирования.

Сформулированные выше положения запишем в виде уравнений состояний:

$$s_i = \varphi(s_{i-1}, u_i) = \langle N_{i-1} + \Delta n_i, \mathfrak{R}_i(s_{i-1}, u_i) \rangle$$

Определим функцию $\mathfrak{R}_i(s_{i-1}, u_i)$ алгоритмически как отображение $\mathfrak{R}_i: \langle s_{i-1}, u_i \rangle \rightarrow K_i$. Будем полагать, что компоненты вектора K_i образуют очередь $FIFO$ незавершенных изделий $\{k_{1,i}, k_{2,i}, \dots, k_{N_{0,i}}\}$, где $j=1,2,\dots,N_{0,i}$ - порядковый номер изделия в очереди, $k_{j,i} \geq k_{j-1,i}$. Выполнение производственной программы q_i на i -ом периоде функционирования осуществляется путем доведения коэффициентов технической готовности $k_{j,i}$ изделий с порядковыми номерами $j=1,2,\dots,q_i$ до единицы и вывода этих изделий из очереди. При этом очередь изделий продвигается, а в конце очереди освободившиеся места заполняются изделиями с $k_{j,i} = 0$, $j \in [N_0 - q_i, N_0]$. Оставшаяся после выполнения производственной программы используемая мощность используется для доработки изделий в очереди в порядке убывания их коэффициентов технической готовности.

Для решения поставленной задачи методом динамического программирования вначале последовательно найдем множества S_i ($i=1,2,\dots,m-1$), начиная с S_1 по S_{m-1} . Нахождение состояний, составляющих множество S_i , осуществляется на основе уже известных состояний из множества S_{i-1} и множества U_i . С этой целью для каждого состояния $s_{i-1} \in S_{i-1}$ перебираем все допустимые управления $u_i \in U_i(s_{i-1})$ и, используя введенные уравнения состояний, находим подмножества состояний $S_i' \subset S_i$, $i=1,2,\dots,g_{i-1}$. Тогда $S_i = \bigcup_{i=1}^{g_{i-1}} S_i'$.

После того, как множества возможных состояний на всех периодах определены, будем двигаться в обратном направлении от m -го периода к первому, определяя на каждом из них условно оптимальные управления. Условно оптимальное управление на i -ом периоде для состояния $s_{i-1} \in S_{i-1}$ определим так:

$$u_i^{opt}(s_{i-1}) = \underset{u_i \in U_i(s_{i-1})}{\operatorname{argmin}} Z_i(u_i) = \sum_{v=1}^m [e^{-1} \Delta n_v] + d \cdot \Delta n_i + c \cdot N_v + \\ + r \cdot (N_0 - N_v) + a \cdot \dots \cdot N_v$$

где $i = m, m-1, m-2, \dots, 1$. Очевидно, что на m -ом периоде для каждого состояния $s_{m-1} \Delta m_{m-1} - N_m - N_{m-1}$. Т.е. поиск условно оптимального управления на последнем периоде для каждого состояния s_{m-1} заключается лишь в нахождении оптимального значения r_i . Условно оптимальное управление u_i^{opt} ищется только для одного заданного значения состояния - s_0 , поэтому оно становится первым в искомой цели безусловно оптимальных управлений производственной мощностью. Поиск остальных управлений осуществляется стандартным для динамического программирования способом.

Заключение. С практической точки зрения постановка и решение подобной задачи на конкретном предприятии связаны с оценкой параметров модели. Каждое предприятие имеет свои специфические особенности, поэтому для применения построенной модели на практике необходима разработка соответствующих методик оценки перечисленных в модели параметров. Прежде всего это касается оценки нормативных затрат по управлению мощностью. Для авиастроительных предприятий, производственная мощность которых напрямую зависит от количества ступеней в производстве окончательной сборки, данные затраты определяются как интегральные затраты по всей технологической цепочке, связанные с резервированием или выводом из резерва одного ступеня.