

УДК 658.012.2

ФОРМИРОВАНИЕ ПЛАНА РАЗВИТИЯ
ПРЕДПРИЯТИЯ С УЧЕТОМ МЕЖЦЕХОВОЙ КООПЕРАЦИИ

Р.Н.Данкова

Для предприятий мелкосерийного типа производства характерно формирование плана в условиях фиксированной номенклатуры и заданных объемов выпуска продукции. Данный план должен быть реальным, т.е. обеспеченным трудовыми, материальными ресурсами, а также пропускной способностью производственных мощностей предприятия. В этой связи план производства должен разрабатываться в тесной увязке с планированием развития производственных мощностей, причем в обосновании планов должна находить отражение взаимосвязь цехов в едином технологическом процессе изготовления конечной продукции.

По действующим методическим положениям [1] в обосновании плана производства учитываются меры по ликвидации "узких" мест в пропускной способности оборудования, но при этом расчеты целесообразности их устранения не проводятся. Иногда эти мероприятия требуют значительных капиталовложений, а эффект от них может привести к отставанию в пропускной способности уже других производственных звеньев. Возникновение "узких" мест носит динамический характер, и необходимым является устранение не только "узких", но и "широких" мест, т.е. ликвидация диспропорций в пропускной способности всех цехов предприятия.

В настоящей работе излагается подход к формированию плана предприятия как процессу построения равноэффективных планов его цехов, что позволяет в плане развития учитывать динамику производственных мощностей по номенклатуре оборудования. Это повышает достоверность прогнозов возникновения "узких" мест в

пропускной способности производственных звеньев и дает возможность своевременно устранять возможные диспропорции в развитии производственных мощностей.

§ 1. Постановка задачи

Равноэффективные планы цехов. Предположим, что все цеха предприятия участвуют в выпуске каждого вида продукции. Номенклатурные задания цехам по изготовлению продукции полностью вытекают из плановых заданий предприятию по выпуску продукции в заданном ассортименте. Для обрабатывающих и заготовительных цехов мелкосерийного производства физический объем выпуска продукции измеряется в полных комплектах деталей (заготовок) на изделия программы завода [2]. Программа выпуска продукции сборочных цехов составляется в изделиях конечной продукции предприятия. Следовательно, для каждого цеха k , $k=1, \dots, K$, заданный ассортиментный набор изготовления продукции α^k будет определяться как $\alpha^k = \alpha$, и каждый цех k должен обеспечить обработку α_j штук комплектов деталей (заготовок) по каждому виду j конечной продукции предприятия, $j=1, \dots, n$. Соответственно сборочный цех должен собрать за плановый период α_j , $j=1, \dots, n$, готовых изделий.

Пусть X^k - план выпуска продукции цехом k , C^k - затраты цехом k внешних для него ресурсов, необходимых для выпуска объемов X^k , $k=1, \dots, K$. В соответствии с [3] план (X^k, C^k) цеха k будет эффективным, если невозможно обеспечить выпуск X^k с меньшими затратами хотя бы одного ресурса, не увеличивая затрат других ресурсов, и соответственно при данных затратах увеличить выпуск одного из продуктов, не уменьшая выпуска других.

Планы цехов (X^k, C^k) будут равноэффективными¹⁾ относительно заданного набора α , если они эффективны и $Z^1 = Z^2 = \dots = Z^k = \dots = Z^K$, где

$$Z^k = \min_j (X_j^k / \alpha_j); \quad (1.1)$$

¹⁾ Понятие равноэффективных планов дано в работе [4].

z^k - уровень выполнения заданий по выпуску продукции цехом k .

Задача планирования развития предприятия. Рассматривается случай формирования плана предприятия в условиях, когда заданный ассортиментный набор представлен в разрезе агрегированных групп продукции. Такая ситуация типична для многих предприятий мелкосерийного типа производства. В этом случае компетенцией завода является составление плана производства в подробной номенклатуре с соблюдением ограничений по заданному выпуску продукции в агрегатах вышестоящей организации (ВО).

Если ассортиментный набор задан предприятию в агрегированных группах, то задача планирования деятельности цеха будет иметь вид:

$$\begin{cases} \Phi_x^k x^k - \Phi_y^k y^k \leq N^k; \\ \gamma^l x^k - d^l z^k \geq 0, l=1, \dots, L; \\ R^k y^k \leq C^k; \\ x^k \geq 0, y^k \geq 0, z^k \geq 0; \\ z^k \rightarrow \max. \end{cases} \quad (1.2)$$

Здесь $x^k = \{x_j^k\}, j=1, \dots, n,$ - вектор выпуска комплектов деталей цехом k по видам конечной продукции;

$y^k = \{y_z^k\}, z=1, \dots, \bar{n},$ - вектор интенсивностей осуществления мероприятий по приросту производственных мощностей цеха

$k; z^k$ - уровень выполнения цехом k задания по выпуску продукции;

$\alpha = \{\alpha_j\}, j=1, \dots, n,$ - заданный ассортиментный набор выпуска конечной продукции предприятия (продукции каждого цеха);

$\Phi_x^k = \{\phi_{ji}^k\}, i=1, \dots, q; j=1, \dots, n,$ - матрица трудоемкости обработки комплектов деталей по видам конечной продукции по группам оборудования цеха k (в станко-часах);

$\Phi_y^k = \{\phi_{ji}^k\}, i=1, \dots, q; z=1, \dots, \bar{n},$ - матрица показателей прироста производственных мощностей в результате осуществления мероприятий;

N^k - вектор ограничений по производственным мощностям;

R^k - матрица использования капиталовложений на осуществление мероприятий по приросту мощностей;
 C^k - ограничение по выделенному цеху k объему капиталовложений.

Заметим, что в задаче (1.2) задания ВО по выпуску продукции представлены в ассортименте изделий конечной продукции предприятия.

Задача планирования развития предприятия состоит в следующем: сформулировать план предприятия как систему равноэффективных планов цехов при условиях:

а) суммарный объем используемых в цехах капиталовложений не превосходит выделенного предприятию лимита, т.е.

$$\sum_k C^k \leq b; \quad (1.3)$$

б) достигается максимальное значение уровня выпуска продукции предприятием в заданном ассортименте:

$$Z^{\Phi} = \min_e \frac{Z^e \bar{X}}{d^e}, \quad (1.4)$$

где \bar{X} - план производства предприятия, каждая компонента которого определяется в соответствии с выражением:

$$\bar{x}_j = \min_k x_j^k, \quad (1.5)$$

x_j^k - количество полных комплектов деталей на изделие вида j по плану цеха k .

Процесс построения равноэффективных планов подсистем позволяет производить распределение ресурса по принципу "узкого" места обратно пропорционально двойственным оценкам, полученным из решения локальных задач цехов. При формировании плана предприятия должны также учитываться следующие обстоятельства:

- управляющим параметром согласования планов цехов является не только размер выделяемых цеху капиталовложений, но и вариации в структуре выпуска продукции в подробной номенклатуре;
- критерием решения задачи является максимизация общесистемного функционала Z^{Φ} .

Эти особенности учтены в рассматриваемом ниже алгоритме формирования равноэффективных планов цехов предприятия.

§ 2. Процесс построения равноэффективных планов цехов

В рассматриваемой модели процесса построения плана предприятия полагается, что лимитирующими факторами в выборе равноэффективных планов являются размер капиталовложений, распределяемых между цехами, и структура выпуска продукции.

Процесс заключается в перераспределении общего ресурса между цехами до тех пор, пока на каждом шаге γ наблюдается рост общесистемного функционала $Z^{\Phi}(\gamma-1)$. В противном случае увеличиваем значение $Z^{\Phi}(\gamma-1)$ в результате решения задачи варьирования структуры выпуска продукции в номенклатуре предприятия. Задачи цехов (1.2) дополнены условиями:

$$X^k \geq X^0. \quad (2.1)$$

Задача варьирования структуры выпуска продукции. Цель формирования и решения рассматриваемой задачи состоит в том, чтобы найти такую структуру выпуска конечной продукции предприятия, которая при фиксированном распределении общего ресурса между цехами обеспечивает максимальное значение функционала Z^{Φ} .

Запишем двойственную к (1.2), (2.1) задачу линейного программирования:

$$\left\{ \begin{array}{l} u^k \phi_X^k - \sum_{\ell=1}^L v_{\ell}^k J^{\ell} - \pi_2^k \geq 0; \\ -u^k \phi_Y^k + \pi_1^k R^k \geq 0; \\ \sum_{\ell=1}^L v_{\ell}^k d^{\ell} \geq -1; \\ u^k \geq 0, v_{\ell}^k \geq 0, \pi_1^k \geq 0, \pi_2^k \geq 0, \ell=1, \dots, L; \\ u^k N^k + \pi_1^k C^k - \pi_2^k X^0 \rightarrow \max. \end{array} \right. \quad (2.2)$$

Здесь: $u^k, v^k, \pi_1^k, \pi_2^k$ - оценки ограничений задачи (I.2), (2.1), обозначенные соответственно очередности ограничений прямой задачи; v^k, π_1^k - скалярные величины; u^k, π_2^k - неотрицательные строки надлежащей длины.

Несложно показать, что каждое допустимое решение задач (I.2), (2.1) удовлетворяет соответствующей системе ограничений:

$$v^k J^L X^k + \pi_2^k X^k \leq u^k N^k + u^k \Phi_Y^k Y^k, l=1, \dots, L. \quad (2.3)$$

Понятно, что допустимый общесистемный выпуск конечной продукции должен удовлетворять одновременно K системам неравенств (2.3). Используя это утверждение, сформулируем задачу по определению выпуска предприятием конечной продукции $\hat{X}(r)$, обеспечивающего максимальное значение общесистемного функционала $\hat{Z}^P(r)$ при фиксированном распределении ресурса капиталовложений между цехами на шаге r процесса.

Эта задача имеет следующий вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \hat{v}_l^k(r) J^L \hat{X}(r) + \hat{\pi}_2^k(r) \hat{X}(r) \leq \hat{u}^k(r) N^k + \\ + \hat{u}^k(r) \Phi_Y^k \hat{Y}^k(r), l=1, \dots, L, k=1, \dots, K; \\ J^L \hat{X}(r) - d^L \hat{Z}(r) \geq 0, l=1, \dots, L; \\ \hat{X}(r) \geq 0; \\ \hat{Z}(r) \rightarrow \max. \end{array} \right. \quad (2.4)$$

Здесь $\hat{Y}^k(r)$ - оптимальное решение задач (I.2) на шаге r , $k=1, \dots, K$;

$\hat{u}^k(r), \hat{v}_l^k(r), \hat{\pi}_2^k(r)$ - оптимальное решение двойственной к (I.2), (2.1) задачи, $k=1, \dots, K, l=1, \dots, L$;

$\hat{X}(r), \hat{Z}(r)$ - переменные задачи (2.4).

Задача (2.4) всегда имеет допустимое решение, так как им, по крайней мере, является вектор $(X^0(r), Z^P(r-1))$. За результат решения задачи варьирования структуры выпуска продукции на шаге r примем вектор $(\hat{X}(r), \hat{Z}^P(r))$, где $\hat{X}(r) = t\tilde{X}(r) + (1-t)X^0(r)$, $\tilde{X}(r)$ - решение задачи (2.4), $t \in [0, 1]$.

$$t = \min_k \min_i \left(\frac{N_i + \Delta f_{2i}^k y_2^k}{\sum_{j=1}^n f_{ji}^k x_j} \right).$$

$\hat{z}^p(r)$ определено в соответствии с (1.4) при $\bar{X} = \hat{X}(r)$.

Вектор $(\hat{X}(r), \hat{Y}^k(r), \hat{z}^p(r))$, $k = 1, \dots, K$, является допустимым решением задач (1.2), и справедливо соотношение $\hat{z}^p(r) \geq \hat{z}^p(r-1)$.

Описание шага процесса. Реализация процесса начинается с задания некоторого допустимого распределения ресурса, например, пропорционально возможному его потреблению в цехах предприятия при $\hat{z}^k = 1$, $k = 1, \dots, K$. Поскольку все последующие шаги процесса не отличаются друг от друга, остановимся на описании шага r , содержащего следующие этапы.

1. Решаются задачи цехов (1.2), дополненные условиями:

$$x^k(r) \geq x^0(r).$$

2. По заданной точности реализации процесса проверяется результат решения задач (1.2). Процесс завершен, если

$$|\max_k \hat{z}^k - \min_k \hat{z}^k| \leq \varepsilon. \quad (2.5)$$

В этом случае решается задача по возможному варьированию структуры выпуска при фиксированном на шаге r распределении ресурса между цехами. Решением является вектор $(\hat{X}(r), \hat{Y}^k(r), \hat{z}^p(r))$, $k = 1, \dots, K$, где $\hat{X}(r)$ - решение задачи варьирования структуры выпуска; $\hat{Y}^k(r)$, $k = 1, \dots, K$, - решение задач (1.2); $\hat{z}^p(r)$ определено в соответствии с (1.4) при $\bar{X} = \hat{X}(r)$. Если условие (2.5) не выполнено, процесс следует продолжить.

3. Проверяем выполнение условия

$$\hat{z}^p(r) - \hat{z}^p(r-1) \leq \varepsilon'. \quad (2.6)$$

Если условие (2.6) выполнено, то это означает, что перераспределение общего ресурса на шаге r процесса не привело к росту общесистемного функционала $\hat{z}^p(r-1)$. Лимитирующим фактором при этом является структура выпуска продукции; переходим к этапу 4. Если условие (2.6) не выполнено, то продолжается про-

цесс перераспределения ресурса. Переходим к этапу 5.

4. Решается задача варьирования структуры выпуска продукции при фиксированном распределении капиталовложений между цехами.

Полагаем $X^0(r+1) = \bar{X}(r)$, $C^k(r+1) = C^k(r)$, $k=1, \dots, K$. Переходим к этапу 1 шага r процесса.

5. Решается задача перераспределения выделенного предприятию лимита капиталовложений между цехами в соответствии с алгоритмом распределения общего ресурса между подсистемами, изложенного в работе [4]. В результате определяются объемы выделенного цехам ресурса $C^k(r+1)$, $k=1, \dots, K$.

Полагаем $X^0(r+1) = \bar{X}(r)$. Переходим к этапу 1 шага $r+1$ процесса.

§ 3. Анализ сходимости процесса

Запишем единую общесистемную задачу предприятия в следующем виде:

$$\begin{cases} \Phi_X^k X - \Phi_Y^k Y^k \leq r^k, k=1, \dots, K; \\ g^l X - z^l d^l \geq 0, l=1, \dots, L; \\ \sum_k R^k Y^k \leq b; \\ X \geq 0, Y^k \geq 0, k=1, \dots, K; z \geq 0; \\ z \rightarrow \max. \end{cases} \quad (3.1)$$

Здесь: $X = \{x_j\}$, $j=1, \dots, n$, - вектор интенсивностей использования производственных способов выпуска продукции предприятием; z - уровень выполнения предприятием заданий по выпуску продукции в ассортименте ВО.

Рассматриваемый алгоритм на каждом шаге $r = \alpha$ обеспечивает допустимость построенного из оптимальных решений задач (1.2) в соответствии с (1.5) и (1.4) вектора $(\bar{X}(\alpha), Y^k(\alpha), z^0(\alpha))$, $k=1, \dots, K$. Вектор $(\bar{X}(\alpha), Y^k(\alpha), z^0(\alpha))$, $k=1, \dots, K$, удовлетворяет ограничениям прямой общей задачи (3.1) в силу того, что $X^k(\alpha) \geq \bar{X}(\alpha)$, $z^k(\alpha) \geq z^0(\alpha)$, $k=1, \dots, K$; $z^0(\alpha) \leq \frac{g^l \bar{X}(\alpha)}{d^l}$, $l=1, \dots, L$, и все элементы матриц задач (1.2),

(2.2), (3.1) являются неотрицательными.

Рассматриваемый процесс обеспечивает также монотонный рост функционала \bar{z}^ϕ на каждом шаге j . Так как достигнутое на предыдущем шаге значение выпуска продукции фиксируется на шаге j в качестве нижней границы выпуска в номенклатуре предприятия как $X^0(j) = \bar{X}(j-1)$, то можно утверждать, что значение $\bar{z}^\phi(j)$ по крайней мере не меньше, чем значение общесистемного функционала $\bar{z}^\phi(j-1)$ на предыдущем шаге процесса.

Покажем, что в общем случае имеет место строгое неравенство: $\bar{z}^\phi(j) > \bar{z}^\phi(j-1)$. На шаге j процесса возможны следующие случаи.

1. Условие завершения процесса (2.5) не выполнено и $\bar{z}^\phi(j) > \bar{z}^\phi(j-1)$, т.е. при данной структуре выпуска продукции перераспределение ресурса между цехами на шаге j привело к росту функционала общей задачи $\bar{z}^\phi(j-1)$ вместе с ростом $\min_k \bar{z}^k(j-1)$.

2. Условие завершения процесса (2.5) не выполнено, но $\bar{z}^\phi(j) = \bar{z}^\phi(j-1)$, где $\bar{z}^\phi(j)$ - это значение общесистемного функционала, полученное в результате перераспределения общего ресурса между цехами на шаге j при фиксированной структуре выпуска. В этом случае решается задача варьирования структуры. В результате имеем два возможных значения общесистемного функционала $\bar{z}^\phi(j)$:

а) $\hat{\bar{z}}^\phi(j) > \bar{z}^\phi(j-1)$; переходим к следующему шагу процесса;

б) $\hat{\bar{z}}^\phi(j) = \bar{z}^\phi(j-1)$; это означает, что хотя бы для одного k имеем $\pi_k^j = 0$ и изменения в размере выделяемого цеху ресурса капиталовложений и структуре выпуска продукции не дают увеличения уровня выпуска конечной продукции в ассортименте ВО. В этом случае получено решение общей задачи (3.1), а лимитируют увеличение уровня выпуска конечной продукции производственные мощности предприятия.

3. Условие завершения процесса (2.5) выполнено. В результате решения задачи варьирования структуры выпуска возможны рассмотренные в п.2 случаи.

Таким образом, последовательность $\{\bar{z}^\phi(j)\}$, $j = 1, 2, \dots$, является монотонно возрастающей. Эта последовательность также является ограниченной, так как интенсивности использования

технологических способов и способов прироста мощностей ограничены лимитом капиталовложений. Возрастающая и ограниченная последовательность имеет предел, к которому данная последовательность сходится, т.е. $\lim_{r \rightarrow \infty} x^r(\beta) = P$, где P - некоторое

положительное число. Можно показать, что P будет точно оптимальным решением общей задачи (3.1), если на последнем шаге $x = P$ процесса структурные ограничения в задачах цехов на выпуск продукции становятся несущественными, т.е. выполняется строгое неравенство:

$$x^k(\beta) > x^0(\beta), \quad k = 1, \dots, K.$$

Опыт экспериментальных и практических расчетов показал быструю сходимость процесса, причем во всех случаях с достаточной точностью достигалось оптимальное решение общей задачи предприятия (3.1).

§ 4. Некоторые практические расчеты по реализации алгоритма согласования планов цехов предприятия

Процесс построения плана развития предприятия как системы согласованных планов деятельности его подразделений был реализован на задаче перспективного планирования на 1986-1990 гг. для Барнаульского завода механических прессов. Задача (3.1) формулировалась как динамическая, включающая пять годовых периодов планирования. Требовалось сформировать план развития предприятия, обеспеченный согласованной деятельностью четырех цехов основного производства. При этом максимизировался уровень выпуска конечной продукции в заданном ассортименте при выделенном на пятилетку лимите капиталовложений на машины и оборудование.

Общая задача предприятия имела довольно большую размерность: 342×431 . С использованием программы симплекс-метода, разработанной в ИМ СО АН СССР, было получено решение общей задачи предприятия. Значение ее функционала явилось контрольным параметром при реализации алгоритма согласования планов подразделений.

Размерности задач цехов (1.2) составляли: 74×166 , 99×191 , 169×261 , 108×200 .

Процесс согласования планов цехов был завершен по выполне-

нию условия (2.5). На шаге $\bar{r}=6$ было получено:

$$|\max_k Z^k(6) - \min_k Z^k(6)| = 0,015,$$

$0,015 < \epsilon_1, \epsilon_1 = 0,02$ - заданная точность реализации алгоритма.

Полученное по алгоритму значение общего для предприятия уровня выпуска продукции в заданном ассортименте $Z^P = 0,13$ составило 0,991 от значения функционала единой задачи предприятия. Уровень же выполнения заданий по выпуску продукции в ассортименте по варианту плана, составленному традиционными методами предприятия, составил 0,4, что более чем в 2 раза хуже полученного значения с использованием алгоритма. Процесс сошелся на шестом шаге, а хорошее приближение к решению задачи было достигнуто уже на четвертом шаге: $Z^P(4) = 0,8$.

Преимущества данного подхода к моделированию процесса разработки плана предприятия состоят в следующем.

1. Возможность решения задач планирования больших размерностей. Все локальные задачи практически доступны для решения с точки зрения их размерностей. Перераспределение ресурса между цехами происходит в результате несложных вычислений, задача вариации структуры выпуска также невелика (в данных практических расчетах ее размерность составила 25×125 , где 125 - количество номенклатурных позиций плана по пяти годам планируемого периода).

2. Небольшое число шагов в реализации процесса, причем на каждой итерации получается допустимый план, который можно принять за окончательный.

3. Удобство подготовки исходной информации. Система локальных задач цехов соответствует реальной производственной структуре предприятия. Подготовка информации, проведение расчетов и анализ результатов могут проводиться по цехам параллельно.

4. Процесс имеет ясную экономическую интерпретацию и понятен заводским специалистам. Он моделирует реальную в практике предприятия процедуру управления по "узкому" месту. Задачи цехов имитируют производственную деятельность подразделений завода, а задачи распределения общего ресурса и варьирования структуры имитируют, по существу, процесс принятия решений дирекцией и планово-экономической службой предприятия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Типовая методика разработки техпромфинплана производственного объединения (комбината), предприятия. - М.: Экономика, 1979, с. 26-27.
2. ЛЕТЕНКО В.А., ГАЛЫШЕРИН Я.Б. Оперативно-производственный план и организация его выполнения. - М.: Машиностроение, 1975, с. 7-28.
3. КАНТОРОВИЧ Л.В. Экономический расчет наилучшего использования ресурсов. - М.: Наука, 1959.
4. МАКАРОВ В.Л., МАРШАК В.Д. Модели оптимального функционирования отраслевых систем. - М.: Экономика, 1979.

Поступила в ред.-изд. отдел
25.06.1985 г.