

УДК 658.012.2.003.12

Л.В. Верещагина, А.Г. Блем

МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ФОРМИРУЕМЫХ ПЛАНОВ ПРОИЗВОДСТВА ПРОМЫШЛЕННОЙ ПРОДУКЦИИ

Разработана модель оценки формируемых планов производства продукции с учетом особенностей формирования плановых заданий, однозначно задающих движение элементов производственной системы.

Планирование, плановое задание, объект планирования, структурная единица, плановые сроки, количество, выполнимость, согласованность, синхронность, напряженность, надежность, оптимальность, ограничение, множество.

L.V. Vereshagina, A.G. Blem

ESTIMATION MODELS OF ORGANIZING PRODUCTION PLANS OF INDUSTRIAL OUTPUT

The authors worked out the estimation model of organizing production plans of industrial output taking into consideration the peculiarities of organizing planned tasks which set the movement of the production system elements.

Planning, planning task, object of planning, structural unit, planning terms, quantity, fulfillment, correspondence, synchronism, intensity, reliability, optimality, limitation, great amount.

Центральным звеном процесса управления на любом промышленном предприятии является планирование. Совокупность текущих планов по направлениям деятельности предприятия (основное производство, снабжение, продвижение и сбыт, логистика, финансы, персонал, техническое развитие, экология) задает траекторию изменения переменных, определяющих состояние и выходные характеристики объекта управления на временном отрезке, равном горизонту планирования (T) с разбивкой по плановым периодам (интервалам планирования) (Δt).

Важной структурной характеристикой системы плановых расчетов является периодичность планирования – Π . Очевидно, что значение Π находится в пределах: $\Delta t \leq \tilde{I} \leq \tilde{A}$. $\tilde{A}, \tilde{I}, \Delta t$ – структурные характеристики планового задания.

Кроме структурных характеристик любое плановое задание характеризуется параметрами:

d – объект планирования (например, при формировании производственных планов объектами планирования могут быть товарные группы изделий, изделия, сборочные единицы, детали, детали операции, при формировании финансовых планов – денежные потоки и т.д.); $D = \{d_1, d_2, \dots, d_k\}$ – множество объектов планирования;

p – структурная единица (при формировании производственных планов в качестве структурных единиц могут быть предприятие в целом, производство, цех, участок, бригада, рабочее место; при формировании финансовых планов – структурными единицами являются подразделения предприятия, центры финансовой ответственности); $P = \{p_1, p_2, \dots, p_\xi\}$ – множество структурных единиц;

t – плановые сроки; $T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$ – множество плановых сроков;

x – количество.

Плановое задание представляет собой множество $X = \cup x_{d,p,t}$, где \dot{I} .

$x_{d,p,t}$ – количество объектов d , планируемых структурной единице p в сроки t .

Важными системными характеристиками процесса планирования являются такие как **выполнимость, согласованность, синхронность, напряженность, надежность, оптимальность** формируемых планов. Несмотря на наличие ряда работ по анализу вышеперечисленных системных свойств, единой точки зрения на определение системных характеристик планов, на показатели количественной оценки того или иного свойства до сих пор не выработано. В связи с этим возникает необходимость дать определения перечисленных системных свойств и попытаться сформулировать совокупность показателей количественной оценки каждого свойства.

Выполнимость плана определяется наличием необходимых для его выполнения ресурсов.

Необходимым условием выполнимости является **согласованность** плановых заданий, которая предполагает, что если на некотором уровне управления все структурные единицы выполняют плановые задания, то каждая из них будет своевременно иметь все необходимые для выполнения плана ресурсы.

Синхронность плановых заданий означает, что все ресурсы (материальные, трудовые, финансовые), необходимые для выполнения планов, будут «пролеживать» («простаивать») минимально возможное время.

Наряду с понятиями выполнимости и согласованности важную роль играет такая характеристика плана как **надежность**, под которой будем понимать вероятность выполнения планового задания.

Процедуру аналитической оценки планов рассмотрим на примере основного бизнес-процесса машиностроительного производства – процесса изготовления продукции (Направление – «Основное производство»).

Назначение (основная задача) планирования основного производства заключается в формировании производственной программы предприятия и её детализации по объектам планирования (изделиям, сборочным единицам (узлам), деталям, операциям), в пространстве (по производствам, цехам, участкам, бригадам, рабочим местам, автоматическим линиям) и во времени (по кварталам, месяцам, декадам, неделям, суткам, сменам, часам, минутам), в результате чего формируется пространственно-временной график движения изделий и их частей в процессе производства. Таким образом, множество объектов планирования D составляют изделия, сборочные единицы, детали, деталиеоперации; множество структурных единиц P образуют производства, цехи, участки, бригады, рабочие места, автоматические линии по изготовлению деталей; множество сроков T – различные плановые периоды (от минуты до года).

Поскольку машиностроительное производство является достаточно сложной системой, процесс планирования, как правило, осуществляется в несколько этапов, то есть является многоуровневым. На каждом этапе (уровне) осуществляется некоторый плановый расчет, в результате которого формируется определенное плановое задание (план), которое, в свою очередь, является исходным для плановых расчетов следующего уровня. Конечным результатом планирования является плановое задание, представляющее собой календарный график выполнения деталиеопераций на рабочих местах, однозначно задающий движение предметов труда в процессе производства. В

результате планового расчета происходит детализация хотя бы одного из структурных параметров D , P , T . Обычно в практике планирования на машиностроительных предприятиях наблюдается не менее трех уровней : общезаводской (D – изделия, группы изделий, P – предприятие в целом, производства, цехи, T – год, квартал, месяц), межцеховой (D – изделия, узлы, детали, P – производства, цеха, участки, T – квартал, месяц, декада, неделя, сутки), внутрицеховой (D – узлы, детали, деталиеоперации, P – участки, бригады, рабочие места, линии, T – месяц, неделя, сутки, смена, час). Плановое задание на i -м уровне планирования представляет собой множество $X^{(i)} = \cup x^{(i)}_{d,p,t}$, ($d \in D^{(i)}, p \in P^{(i)}, t \in T^{(i)}$), где i – индекс уровня планирования; $x^{(i)}_{d,p,t}$ – количество предметов производства d , планируемое к выпуску в подразделении p в сроки t ; $D^{(i)}$ – множество предметов производства на i -м уровне планирования; $P^{(i)}$ – множество производственных подразделений; $T^{(i)}$ – множество сроков изготовления. Сроки изготовления заданы с точностью до $\Delta t^{(i)}$, где $\Delta t^{(i)}$ – интервал (период) планирования на i -м уровне.

Стоит задача аналитической оценки выполнимости, согласованности, синхронности, напряженности, надежности, оптимальности плановых заданий, их соответствия стратегическим целям предприятия.

Пусть $R^{(i)} = \{r_1, r_2, \dots, r_n\}$ – множество групп ресурсов на i -м уровне.

Для того, чтобы плановое задание $X^{(i)}$ было выполнимым по ресурсам, необходимо, чтобы выполнялось условие:

$$\forall r \in R^{(i)} \forall p \in P^{(i)} \forall t \in T^{(i)} [q_{r,p,t}(X^{(i)}) \leq L_{r,p,t}], \quad (1)$$

где $L_{r,p,t}$ – наличие (фонд) ресурса r в подразделении p на отрезке временной оси $[0, t]$;

$$q_{r,p,t}(X^{(i)}) = (q_1(t) + q_2(t)) / 2;$$

$$q_1(t) = \sum_{d \in D_p^{(i)}} \sum_{\theta=1}^{\tau_{d,p}} b_{r,p,d,\theta} \cdot x_{d,p,t+\tau d-\theta} - \sum_{d \in D_p^{(i)}} \sum_{\theta=0}^{\tau_{d,p}-1} b_{r,p,d,\theta+1} \cdot \widehat{H}_{d,p,\theta}(0);$$

$$q_2(t) = \sum_{d \in D_p^{(i)}} \sum_{\theta=0}^{\tau_{d,p}-1} b_{r,p,d,\theta+1} \cdot x_{d,p,t+\tau d-\theta} - \sum_{d \in D_p^{(i)}} \sum_{\theta=0}^{\tau_{d,p}} b_{r,p,d,\theta} \cdot \widehat{H}_{d,p,\theta}(0);$$

$$\widehat{H}_{d,p,\theta}(0) = \sum_{\xi=\theta+1}^{\tau_{d,p}} H_{d,p,\xi}(0);$$

$D_p^{(i)}$ – подмножество множества $D^{(i)}$, включающее предметы производства, обрабатываемые в подразделении P ; $\tau_{d,p}$ – цикл изготовления предмета d в подразделении p ($d \in D^{(i)}, p \in P^{(i)}$) (Единицей масштаба времени на i -м уровне управления является $\Delta t^{(i)}$); $b_{r,p,d,\theta}$ – норма расхода ресурса r на единицу предмета d в подразделении p на θ -м этапе цикла изготовления ($d \in D^{(i)}, p \in P^{(i)}, r \in R^{(i)}, \theta = 1, 2, \dots, \tau_{d,p}$); $H_{d,p,\xi}(0)$ – наличие предмета d в незавершенном производстве на стадии ξ цикла изготовления на начальный момент времени ($d \in D^{(i)}, p \in P^{(i)}, \xi = 1, 2, \dots, \tau_{d,p}, t = 0$); $q_1(t)$ – нижняя граница потребности в ресурсе r в подразделении p ; $q_2(t)$ – верхняя граница потребности в ресурсе r в подразделении p ; $q_{r,p,t}(X^{(i)})$ – усредненная оценка потребности в ресурсе r в подразделении p на отрезке временной оси $[0, t]$; $q_1(t) - q_2(t)$ – вариация оценки, соответствующая i -му уровню управления и объективно отражающая тот факт, что информация на рассматриваемом уровне носит агрегированный характер.

При решении ряда задач планирования величина $L_{r,p,t}$ не является жестко заданной, то есть может стоять вопрос о привлечении дополнительных ресурсов, тогда условие выполнимости планов (1) трансформируется в условие (1') :

$$\forall r \in R^{(i)} \forall p \in P^{(i)} \forall t \in T^{(i)} [q_{r,p,t}(X^{(i)}) \leq L_{r,p,t} + \Delta L_{r,p,t}], \quad (1')$$

где $\Delta L_{r,p,t}$ – количество дополнительно привлекаемого ресурса r в подразделении p на отрезке временной оси $[0, t]$.

Другая важная группа необходимых условий нормального функционирования процесса основного производства отражает объективно существующие пространственно-временные пропорции производственного процесса. Сформулируем эти условия в виде ограничений.

$$\forall d \in D^{(i)} \forall p \in P^{(i)} \forall t \geq \tau_d [x_{d,p,t} \leq x_{d,p,t-\tau_d}^3 + H_{d,p}(0)], \quad (2)$$

где $x_{d,p,t-\tau_d}^3$ – план запуска предмета d в подразделении p на отрезке временной оси $[0, t - \tau_d]$.

Смысл ограничения (2): планируемый выпуск ($x_{d,p,t}$) предмета d подразделением p (за вычетом готовых предметов d в подразделении p на начальный момент времени – $H_{d,p}(0)$) не должен превышать планируемого запуска ($x_{d,p,t-\tau_d}^3$) этого же предмета на отрезке временной оси $[0, t - \tau_d]$, то есть со сдвигом на величину цикла изготовления.

$$\forall d \in D^{(i)} \forall p \in P^{(i)} \forall t \geq \tau_d [x_{d,p,t} \leq x_{d,p,t-\tau_d}^3 + H_{d,p,\tau_d-t}(0)]. \quad (2 \text{ а})$$

Смысл ограничения (2 а): на начальном отрезке горизонта планирования (то есть когда переменная времени t меньше цикла изготовления) можно планировать к выпуску только такое количество предметов d , которое на начальный момент времени имеется в незавершенном производстве на соответствующей стадии готовности.

$$\forall d \in D^{(i)} \forall p_k \wedge P_{k+1} \forall t \in T^{(i)} [x_{d,p_{k+1},t} \leq H_{d,p_k \wedge P_{k+1}}(0) + x_{d,p_k,t}]. \quad (3)$$

Смысл ограничения (3): планируемый выпуск предмета d подразделением p_k на отрезке $[0, t]$ (с учетом $H_{d,p_k \wedge P_{k+1}}(0)$ – наличия предмета d в незавершенном производстве между смежными подразделениями P_k и P_{k+1} на начальный момент времени) должен быть не меньшим, чем планируемый запуск этого же предмета в смежном подразделении P_{k+1} на том же временном интервале.

$$\forall d \in D^{(i)} \forall t \in T^{(i)} [\sum_{d' \in D_d^{(i)}} x_{d',p(d'),t} + O_{d,p(d),d',p(d')} \cdot \dot{I}_{d,d'} \leq H_{d,p(d)}(0) + H'_{d,p(d)}(0) + x_{d,p(d),t}]. \quad (4)$$

Смысл ограничения (4): планируемый выпуск предмета d конечным подразделением-изготовителем на отрезке временной оси $[0, t]$ (с учетом незавершенного производства на начальный момент времени) должен быть не меньшим, чем выпуск предметов, в которые непосредственно входит предмет d , со сдвигом по временной оси на величину опережения выпуска и с учетом применяемости предмета d в этих предметах.

В выражениях (2)-(4):

$Dd^{(i)}$ – подмножество множества $D(i)$, состоящее из предметов труда, в которые непосредственно входит предмет d ;

$Dp^{(i)}$ – подмножество множества $D(i)$, состоящее из предметов труда, обрабатываемых в подразделении p ;

$Pd^{(i)}$ – подмножество множества $P(i)$, включающее подразделения, в которых обрабатывается предмет d ;

$d, P_k \wedge P_{k+1}$ – пара смежных подразделений по маршруту изготовления предмета d ;

$H_{d,P_k} \wedge P_{k+1}(0)$ – количество предметов d , обработка которых закончена в подразделении P_k , но не начата в P_{k+1} на начальный момент времени (складской задел между P_k и P_{k+1} на начальный момент времени);

$p(d)$ – конечное подразделение по маршруту изготовления предмета d ;

$O_{d,p(d),d',p(d')}$ – опережение выпуска предмета d из подразделения $p(d)$ над выпуском d' из $p(d')$, $d, d' \in D^{(i)}$; $d \subset d'$; Обозначение $d \subset d'$ означает, что предмет d входит в предмет d' ;

$\dot{I}_{d,d'}$ – входимость предмета d в предмет d' ($d, d' \in D^{(i)}$; $d \subset d'$).

Ограничения (2) и (2 а) обеспечивают соблюдение объективно существующих пространственно-временных пропорций движения предметов труда в рамках одного производственного подразделения; ограничение (3) – соблюдение пропорций движения предметов труда между смежными частичными производственными процессами (между смежными подразделениями); ограничение (4) – соблюдение пространственно-временных пропорций, характеризующих частичные производственные процессы, в результате которых образуются новые предметы труда (процессы сборки). Совокупность условий (1)-(4) представляет собой необходимые условия выполнимости формируемых плановых заданий по изготовлению машиностроительной продукции, то есть определяет множество допустимых планов $\{X^{(i)}\}^{âîî}$.

Сформулированные условия (1)-(4) являются необходимыми условиями нормального функционирования основного производственного процесса, но не являются достаточными условиями реализации сформированных планов.

Не менее важными характеристиками являются показатели синхронности, согласованности, надежности, оптимальности формируемых плановых заданий. Все эти показатели тесно взаимосвязаны.

Производственный процесс будем называть абсолютно синхронным, если: а) отсутствуют простои оборудования и рабочих по организационным причинам; б) отсутствует пролеживание предметов труда в ожидании обработки (соответственно отсутствуют межоперационные, межлинейные, межучастковые и межцеховые оборотные заделы). Очевидно, что в реальных условиях достижение абсолютной синхронности невозможно, всегда имеет место определенная асинхронность, определяемая: временем простоя рабочих и оборудования в ожидании работ; временем пролеживания предметов труда в ожидании обработки. Та или иная степень асинхронности производственного процесса закладывается в процессе планирования производства. На любом уровне управления асинхронность формируемых плановых заданий определяется разностью между правой и левой частями неравенств в выражениях (1)-(4), то есть тем, насколько эти неравенства далеки от равенств. Разность между правой и левой частями выражения (1) определяет степень асинхронности используемых ресурсов, выражения (3) – степень асинхронности, характеризующую пролеживание предметов труда между подразделениями, участвующими в процессе его изготовления, выражения (4) – пролеживание предметов труда перед сборкой.

В частности, показатель асинхронности в использовании некоторого ресурса r можно задать формулой:

$$KS_r^{(i)} = \left(\frac{1}{N_t} \right) \left(\frac{1}{N_r} \right) \sum_{p \in P_r^{(i)}} \sum_{t \in T^{(i)}} \frac{(L_{r,p,t} - q_{r,p,t}(X^{(i)}))}{L_{r,p,t}},$$

где N_t – количество элементов в множестве $T^{(i)}$ ($N_t = \frac{\tilde{A}^{(i)}}{\Delta t^{(i)}}$); N_r – количество подразделений, в которых используется ресурс r (N_r равно количеству элементов множества $P_r^{(i)}$).

Показатели асинхронности используемых ресурсов непосредственно связаны с показателями напряженности плановых заданий, а показатели асинхронности, характеризующие пролеживание предметов труда в процессе изготовления – с показателями, характеризующими согласованность плановых заданий. Очевидно, что напряженным планом следует считать такой, когда все ресурсы загружены полностью в течение всего горизонта планирования. Тогда степень напряженности планового задания по некоторому ресурсу r можно характеризовать показателем: $KH_r^{(i)} = 1 - KS_r^{(i)}$.

Рассмотрим вопросы анализа согласованности плановых заданий.

Плановые задания i -го уровня смежных подразделений P_k и P_{k+1} будем называть абсолютно согласованными, если для любой допустимой траектории реализации планового задания на $(i-1)$ -м уровне в подразделении P_k допустима любая траектория реализации планового задания на $(i-1)$ -м уровне в подразделении P_{k+1} .

Плановые задания i -го уровня смежных подразделений P_k и P_{k+1} будем называть слабо согласованными, если существует траектория реализации планового задания на $(i-1)$ -м уровне в подразделении P_k , для которой допустима хотя бы одна траектория реализации планового задания на $(i-1)$ -м уровне в подразделении P_{k+1} .

Пусть $Xp_k^{(i)}$ – плановое задание, сформированное на i -м уровне управления и доведенное до подразделения P_k , а $Xp_{k+1}^{(i)}$ – аналогичное задание, доведенное до P_{k+1} . На $(i-1)$ -м уровне в каждом из подразделений P_k , P_{k+1} происходит дальнейшая детализация доведенных плановых заданий, в результате чего формируются планы производства $(i-1)$ -го уровня.

Пусть $\{Xp_k^{(i-1)}\}$ – множество допустимых планов $(i-1)$ -го уровня, которые могут быть сформированы в подразделении P_k (множество возможных траекторий реализации планового задания i -го уровня на $(i-1)$ -м уровне в подразделении P_k), а $\{Xp_{k+1}^{(i-1)}\}$ – аналогичное множество планов, которые могут быть сформированы в подразделении P_{k+1} .

Пусть, далее, Np_k и Np_{k+1} – количество элементов множеств $\{Xp_k^{(i-1)}\}$ и $\{Xp_{k+1}^{(i-1)}\}$ соответственно.

Обозначим: n_j – количество элементов множества $\{Xp_{k+1}^{(i-1)}\}$, допустимых к реализации в случае выбора в процессе формирования плана в подразделении P_k j -го элемента множества $\{Xp_k^{(i-1)}\}$. То есть, если в подразделении P_k выбрали к реализации j -й возможный вариант плана, то n_j – количество вариантов плана в подразделении P_{k+1} (из всего множества возможных вариантов), которые согласованы с данным планом.

Тогда степень согласованности плановых заданий i -го уровня, доведенных до подразделений P_k и P_{k+1} , можно оценить следующим показателем:

$$KC^{(i)} = \left(\frac{1}{Np_k}\right) \left(\frac{1}{Np_{k+1}}\right) \sum_{j=1}^{Np_k} n_j.$$

Величина $(1 - KN^{(i)})$ определяет вероятность дефицита предметов производства, изготавливаемых подразделением P_k в подразделении P_{k+1} .

Приведенные выше условия соблюдения пропорций между запуском и выпуском предметов труда в смежных подразделениях (3) и соблюдения пропорций сборочных процессов (4) обеспечивают лишь слабую согласованность плановых заданий смежных подразделений. Для обеспечения абсолютной согласованности переменная времени t в правых частях неравенств (3) и (4) должна быть уменьшена на единицу (т.е. на величину $\Delta t^{(i)}$) или, наоборот, увеличена на единицу ($\Delta t^{(i)}$) в левых частях соответствующих неравенств.

Выражения (3) и (4) при этом трансформируются в выражения (3') и (4') :

$$\forall d \in D^{(i)} \quad \forall_{P_k, P_{k+1} \in P_d^{(i)}} P_k \wedge P_{k+1} \quad \forall t \in T^{(i)} \left[x_{d, P_{k+1}, t}^3 \leq H_{d_k} P_k \wedge P_{k+1}(0) + x_{d, P_k, t - \Delta t^{(i)}} \right]; \quad (3')$$

$$\forall d \in D^{(i)} \quad \forall t \in T^{(i)} \left[\sum_{d' \in D_d^{(i)}} x_{d', P(d'), t} + O_{d, P(d), d', P(d')} \cdot \ddot{I}_{d, d'} \leq H_{d, P(d)}(0) + H'_{d, P(d)}(0) + x_{d, P(d), t - \Delta t^{(i)}} \right]. \quad (4')$$

Однако в этом случае будет весьма низкой синхронность плановых заданий. Например, если $\Delta t^{(i)}$ равно месяцу, то асинхронность, выраженная в более ранней подаче, чем это необходимо, предметов труда из P_k в P_{k+1} и соответственно, в образовании обратного задела между P_k и P_{k+1} , будет в среднем равна месячному выпуску продукции подразделением P_k .

Таким образом, увеличение согласованности плановых заданий за счет введения дополнительных резервов времени в подаче предметов производства из подразделения-изготовителя в подразделение-получатель приводит к росту незавершенного производства, увеличению длительности циклов изготовления изделий, к снижению оборачиваемости оборотных средств.

Повысить степень согласованности плановых заданий при одновременном поддержании достаточно высокого уровня синхронизации планов можно при помощи следующих мероприятий:

1. Уменьшение дискрета (периода, интервала) планирования $\Delta t^{(i)}$ на рассматриваемом уровне управления.

2. Уменьшение количества подразделений по маршруту изготовления предметов труда за счет перехода к предметно-замкнутой организации производственных цехов и участков, автоматизации производственных процессов, внедрения бригадных форм организации и оплаты труда.

3. Введение специальных форм взаиморасчетов между смежными производственными подразделениями, когда подразделение-получатель «оплачивает» подразделению-поставщику только нужную ему (получателю) продукцию.

В случае, когда согласованность плановых заданий на некотором i -м уровне управления низка, возникает необходимость в регулирующих воздействиях внутри интервала планирования $\Delta t^{(i)}$.

Таким образом, сформулированные в виде неравенств (1)-(4) необходимые условия гармонизации производственного процесса лежат в основе определения таких системных характеристик процесса управления, как выполнимость, синхронность, напряженность, согласованность плановых заданий по изготовлению продукции. Разность между правой и левой частями неравенств (1), (1') определяет величину плановых резервов производственных ресурсов, а разность между правой и левой частями неравенств (2), (2 а) характеризует величину планового резерва времени.

Чем ближе неравенства (1)-(4) к равенствам, тем:

- напряженнее плановые задания;
- выше степень синхронности производственных процессов;
- ниже уровень незавершенного производства, меньше длительность циклов изготовления деталей, узлов и изделий, выше оборачиваемость оборотных средств;
- ниже уровень плановых резервов ресурсов и времени;
- ниже показатели выполнимости и согласованности плановых заданий;
- больше потребность в регулирующих воздействиях.

Одной из наиболее сложных является оценка оптимальности формируемых планов. В более широкой постановке – это задача сравнения и экспертного анализа различных вариантов развития производственной системы: различных вариантов плановых заданий по выпуску продукции, различных вариантов инвестиционных программ, различных вариантов распределения капиталовложений и корпоративной прибыли по структурным центрам ответственности и различным программам развития и т.п.

Попытаемся формализовать данную задачу.

Пусть $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ – множество сравниваемых допустимых планов (вариантов развития); $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_m\}$ – множество технико-экономических показателей, характеризующих производственную систему и измеряемых в системе экономического анализа. При этом y_k^0 – уже достигнутое значение показателя y_k на момент сравнения вариантов (в базисном либо отчетном периоде), $y_k(x_i)$ – значение, которое примет показатель y_k в конце планируемого периода при выборе варианта развития x_i . Необходимо выработать критерии отбора лучшего варианта.

Будем считать, что выбор происходит из множества допустимых планов (вариантов развития), то есть планов, отвечающих условиям выполнимости и согласованности.

Рассмотрим возможные подходы к формированию таких критериев. Без ограничения общности можно считать, что оптимальным значением каждого показателя y_k является его максимальное значение.

1. Отбор лучшего варианта на основе формирования единого показателя (критерия) эффективности. При этом в качестве показателя эффективности используется какой-то из показателей y_1, y_2, \dots, y_m , пусть, например, это y_k . Формулировка задачи отбора лучшего варианта при этом имеет вид:

$$y_k^0(x^0) = \max_x \{y_k(x)\}.$$

2. Отбор лучшего варианта на основе формирования единого показателя (критерия) эффективности. В качестве показателя эффективности используется один из показателей y_1, y_2, \dots, y_m , пусть, например, это y_k , при этом на значения отдельных технико-экономических показателей $y_{\gamma}, y_{\gamma+1}, \dots, y_{\gamma+p}$ накладываются ограничения.

Формулировка задачи отбора лучшего варианта при этом имеет вид:

$$y_k^0(x^0) = \max_x \{y_k(x)\},$$

$$y_{\gamma+\zeta}^m \leq y_{\gamma+\zeta} \leq y_{\gamma+\zeta}^m \quad \zeta = 0, 1, \dots, p.$$

3. Отбор лучшего варианта на основе формирования единого показателя (критерия) эффективности. При этом для формирования единого критерия используются несколько технико-экономических показателей. Пусть это показатели y_1, y_2, \dots, y_m . Математическая формулировка задачи отбора лучшего варианта имеет вид:

$$F^0(x^0) = \max_x F\{y_1(x), y_2(x), \dots, y_m(x)\}.$$

Единый критериальный показатель F представляет собой некоторую скалярную функцию от y_1, y_2, \dots, y_m .

Рассмотрим частные случаи формирования F .

3.1. F – аддитивная функция y_1, y_2, \dots, y_m .

$$F(x) = p_1 y_1(x) + p_2 y_2(x) + \dots + p_m y_m(x) = \sum_{k=1}^m p_k y_k(x), \quad \text{где } p_1, p_2, \dots, p_m \text{ – весовые}$$

коэффициенты, отражающие относительную важность показателей, образующих критериальный показатель F . Поскольку технико-экономические показатели могут иметь самую разнообразную размерность, при формировании критериального показателя целесообразно использовать относительные значения технико-экономических показателей.

$$3.2. F(x) = \sum_{k=1}^m p_k \frac{y_k(x) - y_k^a}{y_k^a}, \quad \text{где } y_k^a \text{ – значение показателя } y_k \text{ в базисном периоде.}$$

$$3.3.1. F(x) = \sum_{k=1}^m p_k \frac{y_k^{ce} - y_k(x)}{y_k^{ce}}, \quad \text{где } y_k^{ce} \text{ – желаемое (нормативное, среднеотраслевое)}$$

значение показателя y_k .

$$3.3.2. F(x) = \sum_{k=1}^m p_k \frac{y_k^{ae} - y_k(x)}{y_k^{ae} - y_k^a}.$$

$$3.3.3. F(x) = \sum_{k=1}^m p_k \frac{y_k(\tilde{\delta}) - y_k^a}{y_k^{ae} - y_k^a}.$$

$$3.4.1. F(x) = \sum_{k=1}^m p_k \frac{y_k^0 - y_k(x)}{y_k^0}, \text{ где } y_k^0 - \text{ оптимальное значение показателя } y_k,$$

полученное в результате решения задачи $y_k^0(x^0) = \max_x \{y_k(x)\}$.

$$3.4.2. F(x) = \sum_{k=1}^m p_k \frac{y_k^0 - y_k(x)}{y_k^0 - y_k^a}.$$

$$3.4.3. F(x) = \sum_{k=1}^m p_k \frac{y_k(\tilde{\delta}) - y_k^a}{y_k^0 - y_k^a}.$$

Формирование критериального показателя по методике 3.2 соответствует случаю, когда целью оптимизации является максимальное суммарное улучшение y_1, y_2, \dots, y_m по сравнению с их базисными значениями (с учетом весовых коэффициентов, определяющих относительную важность того или иного показателя).

Формирование критериального показателя по методике 3.3.1 соответствует случаю, когда целью оптимизации является минимизация суммарного процента отклонений значений переменных y_1, y_2, \dots, y_m от желаемых значений (с учетом весовых коэффициентов, определяющих относительную важность того или иного показателя). В качестве желаемых значений могут выступать нормативные значения, среднеотраслевые, лучшие по отрасли.

Формирование критериального показателя по методике 3.3.2 (3.3.3) соответствует случаю, когда целью оптимизации является максимальное суммарное приближение значений показателей y_1, y_2, \dots, y_m от базисных к желаемым (с учетом весовых коэффициентов, определяющих относительную важность того или иного показателя).

Методика 3.4.1 соответствует стремлению к минимизации суммарного процента отклонений y_1, y_2, \dots, y_m от их оптимальных значений, а методика 3.4.2 (3.4.3) – к максимизации суммарного приближения к оптимальным от базисных.

Математическая формулировка задачи для случаев 3.1, 3.2, 3.3.3, 3.4.3 имеет вид:

$$F^0(x^0) = \max_x F(x), \text{ а для случаев 3.3.1, 3.3.2, 3.4.1, 3.4.2 – вид } F^0(x^0) = \min_x F(x).$$

Перечисленные методики многоцелевой оптимизации 3.1-3.4 применимы тогда, когда целью оптимизации является суммарное улучшение технико-экономических показателей y_1, y_2, \dots, y_m , выбранных для формирования критериального показателя F .

Рассмотрим пример. Пусть в качестве технико-экономических показателей для формирования F используются показатели y_1, y_2, y_3 и методика многоцелевой оптимизации 3.2. Базисные значения каждой из переменных приняты за единицу, весовые коэффициенты также равны единице, то есть все показатели равнозначны. Оцениваются два варианта развития системы. По первому варианту в планируемом периоде значения технико-экономических показателей должны принять значения: $y_1 = 1,06, y_2 = 1,06, y_3 = 1,06$, по второму варианту: $y_1 = 1,0, y_2 = 1,0, y_3 = 1,2$. Критериальный показатель F по первому варианту будет равен 0,18, а по второму – 0,2. В результате будет принят второй вариант, хотя в этом случае происходит улучшение только одного показателя y_3 , а по первому варианту – всех трех показателей y_1, y_2, y_3 .

Если предпочтительнее равномерное (или равномерное с учетом весовых коэффициентов) улучшение технико-экономических показателей, выбранных для формирования критериального показателя, то для отбора лучшего варианта развития системы можно использовать модифицированные методики 3.2-3.4:

4.1.

$$F^0(x^0) = \max_x \min_k p_k \frac{y_k(\tilde{\delta}) - y_k^a}{y_k^a}$$

 $\Delta z \Rightarrow \max$

$$p_k \frac{y_k(\tilde{\delta}) - y_k^a}{y_k^a} \geq \Delta z$$

 $k = 1, 2, \dots, m$

4.2.

$$F^0(x^0) = \min_x \max_k p_k \frac{y_k^{ae(0)} - y_k(\tilde{\delta})}{y_k^{ae(0)}}$$

 $\Delta z \Rightarrow \min$

$$p_k \frac{y_k^{ae(0)} - y_k(\tilde{\delta})}{y_k^{ae(0)}} \leq \Delta z$$

 $k = 1, 2, \dots, m$

4.3.

$$F^0(x^0) = \min_x \max_k p_k \frac{y_k^{ae(0)} - y_k(\tilde{\delta})}{y_k^{ae(0)} - y_k^a}$$

 $\Delta z \Rightarrow \max$

$$p_k \frac{y_k^{ae(0)} - y_k(\tilde{\delta})}{y_k^{ae(0)} - y_k^a} \leq \Delta z$$

 $k = 1, 2, \dots, m$

В схеме 4.1 отбора лучшего варианта ΔZ – общая, единая для всех технико-экономических показателей y_1, y_2, \dots, y_m величина улучшения (по сравнению с базисными значениями и с учетом весовых коэффициентов); в схеме 4.2 ΔZ – единая, общая для всех y_1, y_2, \dots, y_m величина отклонения от желаемых (оптимальных) значений, и, наконец, в схеме 4.3 ΔZ – величина отклонения планируемых значений y_1, y_2, \dots, y_m от желаемых (оптимальных), отнесенная к разнице между желаемыми (оптимальными) и уже достигнутыми (базисными) значениями технико-экономических показателей.

4. Отбор лучшего варианта на основе неформализованных правил предпочтения.

Пусть $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ – сравниваемые плановые задания (варианты развития производственной системы); $Y(x_i) = \{y_1(x_i), y_2(x_i), \dots, y_m(x_i)\}$ – множество значений технико-экономических показателей y_1, y_2, \dots, y_m в случае, если будет принят вариант x_i . Анализируя (сравнивая) множества $Y(x_1), Y(x_2), \dots, Y(x_n)$, специалист (эксперт) на основании неформализованных правил осуществляет выбор лучшего, по его мнению, варианта.

Отбор лучшего варианта развития при отсутствии четко сформулированных правил может осуществляться с использованием нейросетевого подхода. В качестве обучающей выборки при этом используются множества значений показателей $\{y_1, y_2, \dots, y_m\}$. После обучения нейронной сети она может выступать в качестве эксперта при отборе лучших вариантов плановых заданий (вариантов развития системы).

ЛИТЕРАТУРА

1. Верещагина Л.В. Аналитическая функция управления в производственных системах (на примере предприятий машиностроения в Алтайском крае): дис. ... канд. техн. наук / Л.В. Верещагина. Барнаул, 2005. 159 с.

2. Поршнев А.Г. Управление организацией: учебник / под ред. А.Г. Поршнева, З.И. Румянцевой, И.А. Соломатина. 2-е изд., перераб. и доп. М.: ИНФРА-М, 1998. 700 с.

Верещагина Людмила Владиславовна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные системы в экономике» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова

Vereshagina Lyudmila Vladislavovna – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor of the Department of «Information Systems in Economics» of Altay State Technical University in the name of I.I. Polzunov

Блем Александр Генрихович – кандидат экономических наук, профессор кафедры «Информационные системы в экономике» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова

Blem Aleksandr Genrikhovich – Candidate of Sciences in Economics, Assistant Professor of the Department of «Information Systems in Economics» of Altay State Technical University in the name of I.I. Polzunov

Статья поступила в редакцию 19.09.08, принята к опубликованию 10.12.08