

## ПЛАНИРОВАНИЕ НИР В ОТРАСЛИ

Отраслевой принцип управления играет важную роль в системе народнохозяйственного планирования. В частности, им определяются основные практические формы организации управления развитием научно-технического прогресса. Это обуславливает актуальность задач совершенствования практики отраслевого планирования научных исследований и разработок на базе использования современных методов управления.

Исследование процесса планирования НИР и ОКР в отраслевом звене позволяет сделать вывод о целесообразности и перспективности подхода к рассмотрению этого процесса с позиций аксиомы активного поведения элементов системы [1]\*. Напомним, что свойством "активности" названа способность человека или коллектива людей (то есть некоторой организационной единицы) предвидеть последствия своих решений в смысле воздействия их на собственные целевые функции и соответственно влиять на выбор управляющих воздействий вышестоящей организацией. Научно-исследовательские организации и подразделения в полной мере обладают свойством активности, которое проявляется как на этапе формирования исходных данных для планирования, так и во время реализации плана.

Современные научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки представляют собой (как объект управления) сложные динамические системы и характеризуются большими масштабами, сложностью и вероятностным характером взаимосвязей, наличием неопределенности как в части хода разработок, так и в части ожидаемых результатов. Эти особенности научных исследований обуславливают одновременно высокие требования к системам управления НИР и ОКР и трудность их построения.

---

\* Этот подход ни в коей мере не противоречит принципу программно-целевого планирования и вписывается в его рамки, будучи примененным к конкретным процедурам в процессе формирования планов НИР.

Понятие "управление" объединяет весь сложный комплекс операций по оценке состояния, прогнозированию, перспективному и текущему планированию, оперативному управлению, контролю, учету и отчетности, причем определяющая роль в этом комплексе принадлежит задачам планирования.

Основные требования к планам НИР: соответствие народнохозяйственным планам и потребностям; обоснованность; соответствие возможностям исполнителей; контролируемость, удовлетворение заданному критерию. Построение плана НИР требует выполнения отнюдь не тривиальных операций определения номенклатуры работ, оценки трудоемкости, сроков выполнения и стоимости работ. Совершенствование всех операций в системе планирования НИР, как показывает опыт, позволяет снизить стоимость и время проведения разработок за счет более глубокого анализа возможностей исполнителей и получения о них информации, близкой к реальным оценкам.

Поскольку материальные, трудовые и прочие ресурсы общества всегда ограничены, планирование должно предусматривать такое распределение ресурсов, которое обеспечивало бы первоочередное выполнение наиболее важных и ценных с общегосударственной точки зрения разработок. Важность разработок определяется либо на основании опыта руководителей системы (чаще всего — единолично людьми, принимающими решения о финансировании работ), либо на основании оценок экспертов и зависит от многих неформальных факторов — престижности, оборонного значения, актуальности в свете народнохозяйственных задач и т. п.

Формирование "портфеля" заявок на разработки в планирующих органах НИИ, объединения, министерства и отрасли происходит по установившемуся в настоящее время порядку на основании указаний вышестоящих организаций и предложений "снизу", от исполнителей. Эти совокупности заявок и являются основой для создания планов научно-исследовательских работ на всех иерархических уровнях.

Планирующие органы учреждений и организаций каждого министерства должны непременно включать в планы следующие группы работ: предусмотренные постановлениями Правительства;

включенные в координационные планы по решению научно-технических проблем, в разработке которых данное министерство является главным исполнителем или соисполнителем; диктуемые нуждами данного министерства и выполняемые по его приказам. Остальную часть тематических планов составляют работы, выявляемые самими исполнителями (НИИ и КБ) и одобренные руководством главка (или объединения). Таким образом, характерными для существующей системы планирования НИР являются следующие положения: высший уровень руководства устанавливает для низшего уровня ограничения по основным показателям деятельности, а именно - перечень и сроки планируемых работ и границы ассигнований; тематические планы формируются в рамках установленных ограничений на уровне НИИ и КБ, то есть на уровне сосредоточения высшей научно-технической компетенции в решении конкретных проблем; план верхнего уровня является сводным агрегированным планом подчиненных блоков нижнего уровня; процесс рассмотрения и согласования планов руководством различных уровней носит итерационный характер.

Сбор информации о возможностях и предпочтениях исполнителей, о потребностях их в ресурсах осуществляется, в основном, встречным способом, то есть исполнители сами сообщают необходимые данные в планирующий орган. Что касается принципа управления, то есть порядка назначения работ к исполнению и распределения ресурсов между исполнителями, то можно с уверенностью сказать, что принцип жесткого централизованного управления здесь, в условиях отсутствия достоверной информации о необходимых затратах и о необходимом и достаточном объеме работ в каждом конкретном случае, не может дать хороших результатов. Уже сейчас в подсистемах планирования НИР на уровне "руководство НИИ - отделы" присутствуют элементы согласованного планирования, то есть исполнителям назначаются планы с учетом их интересов.

Одна из центральных задач в отраслевых системах планирования НИР - задача оптимального (в смысле получения некоторого результирующего эффекта) распределения НИР и ОКР

между исполнителями (НИИ, КБ) при ограниченных ресурсах.

Наиболее частая и широко распространенная модификация формального описания задачи распределения разработок, предполагающая наличие скалярной свертки критериев эффективности планируемых разработок, конструируется следующим образом. Рассматривается система из  $n$  исполнителей ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) и управляющего органа (УО); имеется  $m$  работ - будем далее называть их проектами - ( $j = 1, 2, \dots, m$ ), причем каждый из проектов может быть выполнен любым из исполнителей при использовании ресурсов в количестве  $\sum_{k=1}^K r_{ijk}$  ( $k$  - вид ресурса,  $k = 1, 2, \dots, K$ ). Количество каждого вида ресурса в системе строго ограничено величинами  $R_k$ . Ценность каждого проекта с позиций УО выражается величиной  $C_j$  на некоторой числовой шкале относительных оценок. Задачей управляющего органа является такое распределение проектов между исполнителями, при котором сумма оценок ценности назначенных проектов будет наибольшей и необходимое количество каждого вида ресурса не превысит  $R_k$ :

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m C_j x_{ij} \rightarrow \max, \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^m r_{ijk} x_{ij} \leq R_k, \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} \leq 1, \quad (3)$$

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{- проект } j \text{ назначен исполнителю } i; \\ 0 & \text{- проект } j \text{ не назначен исполнителю } i. \end{cases}$$

Очевидно, что задача (1-3) обязательно имеет решение и оно может быть не единственным. В случаях, когда не заданы ресурсные ограничения  $R_k$  и должны быть назначены к исполнению все проекты, задача управляющего органа формулируется как минимизация необходимого количества ресурсов:

$$\max_k \sum_i \sum_j r_{ijk} \rightarrow \min.$$

Как видно из приведенного примера, описание модификаций рассматриваемой задачи с помощью аппарата математического программирования не представляет каких-либо затруднений. Работы исследователей в этой области посвящены, в основном, способам получения количественных оценок качественных пока-

зателей НИР и ОКР (см., например, [2]).

Однако описанный общепринятый подход к формализации задачи планирования НИР и ОКР опирается, по существу, на гипотезу о достоверности информации о потребностях исполнителей в ресурсах ( $x_{ijk}$ ), а также отождествляет интересы исполнителей с интересами управляющего органа. Иначе говоря, из рассмотрения исключаются принципиальные и особенно характерные для систем организационного управления НИР и ОКР аспекты, обусловленные решающей ролью в системе человека (коллектива людей). Моделью не предусмотрены способы воздействия на исполнителей, интересы их не учитываются и им предоставляется возможность сообщать неконтролируемые (до конца планового периода, по крайней мере) сведения о необходимом количестве ресурсов. Очевидно, что решение задачи (I-3) в этих условиях нельзя считать действительно оптимальным.

Учет особенностей задачи планирования НИР для конкретных случаев и, главное, учет структуры целевых функций подсистем и механизма взаимодействия элементов разных уровней системы в процессе выработки планов приводят к расширению класса моделей исследуемой задачи.

Для определенности в дальнейшем рассматривается задача распределения проектов в масштабе подотрасли. Рассмотрим несколько вариантов описания элементов системы "объединение — организации".

Примем, что известна "ценность"  $C_{ij}$  каждого проекта  $j$  при его реализации организацией  $i$  с точки зрения УО. Качество плана назначения проектов оценивается по суммарной ценности проектов, назначенных к исполнению:

$$C(x) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m C_{ij} x_{ij}, \quad (4)$$

где по-прежнему  $n$  — число организаций,  $m$  — число проектов,  $x_{ij}$  — булева переменная. Критерий (4) целесообразно применять в тех случаях, когда число проектов сравнительно велико и не все они могут быть назначены к исполнению. В случае, когда все проекты обязательно должны

быть назначены, величина  $C(x)$  просто равна суммарной ценности всех проектов, а в качестве критерия оценки планов целесообразно взять суммарные затраты  $R(x)$  на реализацию проектов. Если  $r_{ij}$  - затраты организации  $i$  на реализацию проекта  $j$ , то

$$R(x) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m r_{ij} x_{ij} \quad (5)$$

Лучшим считается план, для которого  $R(x)$  имеет минимальную величину.

Как было отмечено выше, УО не знает достаточно точно величин затрат  $r_{ij}$ . Поэтому информацию о необходимых затратах на реализацию проектов ему сообщают сами организации-исполнители.\*

Обозначим  $S_{ij}$  оценку затрат на реализацию проекта  $j$ , сообщаемую организацией  $i$  УО. Заметим, что в определенных условиях функционирования системы (в зависимости от принципа распределения ресурсов и назначения проектов) может проявиться тенденция завышения или занижения оценок затрат  $S_{ij}$ , сообщаемых организациями, по сравнению с объективными затратами  $r_{ij}$ . Если задан бюджет  $M_i$  организации  $i$ , а центр не располагает дополнительными финансовыми ресурсами, то, очевидно, общие затраты на реализацию назначенных проектов не должны превышать бюджета  $M_i$ . Поскольку УО оценивает затраты организации по сообщаемым оценкам  $S_{ij}$ , то соответствующие ограничения можно записать в виде

$$\sum_{j=1}^m S_{ij} x_{ij} \leq M_i, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (6)$$

---

\* В данном случае учитываются суммарные затраты на реализацию проектов в стоимостном выражении. Однако нетрудно обобщить задачу и на случай затрат нескольких видов ресурсов (например, люди, финансы, оборудование и т. д.). В этом случае по каждому проекту организация сообщает уже не одно число, а несколько чисел, соответствующих оценкам затрат по каждой статье расходов.

Наконец, если УО имеет централизованный фонд  $M$  ассигнований и из этого фонда финансируются все проекты, назначенные к реализации, то единственное ограничение, определяющее допустимые планы назначения проектов, запишется в виде

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m s_{ij} x_{ij} \leq M. \quad (7)$$

Возможен вариант, когда из централизованного фонда могут обеспечиваться только расходы организации сверх бюджета  $M_i$ . Для формальной записи этой ситуации введем функцию  $1[A]$ , равную 1, если  $A > 0$ , и равную 0, если  $A \leq 0$ . Тогда расходы организации  $i$  сверх бюджета  $M_i$  можно представить в виде

$$\Delta_i = \left[ \sum_{j=1}^m s_{ij} x_{ij} - M_i \right] 1 \left[ \sum_{j=1}^m s_{ij} x_{ij} - M_i \right]$$

и ограничение (7) принимает вид

$$\sum_{i=1}^n \Delta_i \leq M.$$

Рассмотрим возможность формальной записи интересов организаций в виде их целевых функций.

В общем случае, реализация каждого проекта  $j$  представляет для организации  $i$  определенную ценность  $q_{ij}$ , в которой отражаются такие факторы, как престиж организации, научный интерес исполнителей к соответствующей проблеме и другие. Суммарную ценность плана назначения проектов для организации  $i$  можно записать в виде

$$C_i(x_i) = \sum_{j=1}^m q_{ij} x_{ij}. \quad (8)$$

Организация стремится увеличить  $C_i(x_i)$ .

Другая составляющая интересов организации связана со стремлением получить проекты, не требующие использования предельных технологических и ресурсных возможностей организации (НИИ, КБ) при их выполнении. Стремление организации потенциально обеспечить определенную свободу маневра ресурсами в процессе выполнения плана НИР и ОКР обусловлено,

во-первых, необходимостью отвлечения части располагаемых ресурсов организации для подготовки научного задела и реализации ранее выявленных перспектив развития новой тематики по профилю организации и, во-вторых, заинтересованностью организации в увеличении вероятности успешного выполнения порученных проектов в условиях объективно существующей неопределенности хода разработок и стохастического характера оценок потребности в ресурсах на разработки  $r_{ij}$ .

Эту составляющую можно формально записать как стремление организации уменьшить реальные затраты ресурсов

$$R_i(x_i) = \sum_{j=1}^m r_{ij} x_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (9)$$

Соизмеряя "ценность" проектов с затратами на их реализацию, можно записать объединенную целевую функцию организации  $i$  в виде  $\Psi_i = \sum_{j=1}^m (\omega q_{ij} - r_{ij}) x_{ij} \rightarrow \max$ , где  $\omega > 0$ ,  $\omega$  - коэффициент приведения ценности к затратам; или, обозначая  $a_{ij} = \omega q_{ij} - r_{ij}$ , получаем:

$$\Psi_i(x_i) = \sum_{j=1}^m a_{ij} x_{ij} \rightarrow \max, \quad (10)$$

причем  $a_{ij}$  может быть как положительным, так и отрицательным числом.

Если финансирование проектов производится из централизованного фонда (полностью или частично), то появляется еще одна составляющая целевой функции организации

$$L_i(x_i) = \sum_{j=1}^m \lambda_{ij} x_{ij}, \quad (11)$$

где  $\lambda_{ij}$  - величина средств, выделенная организации  $i$  из централизованного фонда на реализацию проекта  $j$ . Естественно, организация заинтересована в увеличении дополнительных средств  $L_i(x_i)$ .

Наконец, в целевую функцию организации могут входить потери организации от расхождения реальных затрат  $r_{ij}$  на реализацию проекта и оценок  $S_{ij}$  этих затрат, сообщаемых в УО:

$$\Psi_i(x_i) = \sum_{j=1}^m \xi_j (s_{ij} - r_{ij}) x_{ij}, \quad (12)$$

где

$$\xi_j (s_{ij} - r_{ij}) = \begin{cases} \alpha_j (s_{ij} - r_{ij}) & , \text{если } s_{ij} \leq r_{ij} , \\ \beta_j (s_{ij} - r_{ij}) & , \text{если } s_{ij} \geq r_{ij} \end{cases}$$

Функцию  $\Psi_i$  будем называть еще функцией штрафа.

### Варианты модели системы

I. Централизованное финансирование отсутствует, заданы бюджетные ограничения на каждую организацию. Задача планирования формулируется следующим образом: определить план

$\{x_{ij}\}$  такой, чтобы

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m C_{ij} x_{ij} \rightarrow \max$$

при ограничениях

$$\sum_{j=1}^m s_{ij} x_{ij} \leq M, \quad i = 1, 2, \dots, n,$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} \leq 1, \quad j = 1, 2, \dots, m.$$

Если проектов  $j$ -го типа несколько ( $m_j$ ), то последнее ограничение запишется как  $\sum_{i=1}^n x_{ij} \leq m_j$ .

Варианты записи целевых функций организаций:

а)  $\varphi_i = \sum_{j=1}^m q_{ij} x_{ij}$ , причем величины  $q_{ij}$  оценок ценности проектов с точки зрения организации могут совпадать с величинами  $C_{ij}$  оценок ценности тех же проектов с точки зрения УО или отличаться от них, — это определяется конкретной ситуацией в реальной системе;

б)  $\varphi_i = M_i - \sum_{j=1}^m r_{ij} x_{ij}$ ;

в)  $\varphi_i = \sum_{j=1}^m (\omega q_{ij} - r_{ij}) x_{ij}$ .

Если модель учитывает потери организации от несоответствия сообщаемой оценки  $s_{ij}$  и истинных затрат  $r_{ij}$ , то к каждому из выражений а), б) и в) добавляется (со знаком минус) функция штрафа (12) или ограничение  $s_{ij} \geq r_{ij}$

Так, например, если в качестве целевой функции организации принята суммарная ценность назначенных проектов с учетом потерь от недостоверности сообщаемых оценок, то формула для определения "выигрыша" организации будет иметь следующий вид:

$$\varphi_i = \begin{cases} \sum_{j=1}^m [\omega q_{ij} - \alpha_j (r_{ij} - s_{ij})] x_{ij}, & \text{если } s_{ij} \leq r_{ij}, \\ \sum_{j=1}^m [\omega q_{ij} - \beta_j (s_{ij} - r_{ij})] x_{ij}, & \text{если } s_{ij} \geq r_{ij}. \end{cases}$$

Замечание. Если организация имеет возможность перераспределять ресурсы между различными проектами, то потери от несоответствия сообщаемых оценок истинным затратам возникнут в том случае, когда сумма оценок затрат по назначенным проектам отличается от суммы действительно необходимых затрат по этим проектам. Функция штрафа будет иметь вид:

$$\Psi_i(x_i) = \begin{cases} \alpha \left[ \sum_{j=1}^m r_{ij} x_{ij} - \sum_{j=1}^m s_{ij} x_{ij} \right], & \text{если } \sum_j r_{ij} x_{ij} \geq \sum_j s_{ij} x_{ij}, \\ \beta \left[ \sum_{j=1}^m s_{ij} x_{ij} - \sum_{j=1}^m r_{ij} x_{ij} \right], & \text{если } \sum_j s_{ij} x_{ij} \geq \sum_j r_{ij} x_{ij}. \end{cases}$$

II. Все проекты финансируются из централизованного фонда величиной  $M$ . Формулировка задачи планирования: определить план  $\{x_{ij}\}$  такой, чтобы

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m C_{ij} x_{ij} \rightarrow \max$$

при ограничениях

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m s_{ij} x_{ij} \leq M,$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} \leq m_j, \quad j = 1, 2, \dots, m.$$

Целевые функции организаций могут быть записаны в этом случае аналогично варианту I с добавлением средств  $\lambda_{ij}$  из централизованного фонда, причем  $\lambda_{ij} = s_{ij}$ . Соответствующая составляющая целевой функции организации имеет вид:

$$\sum_{j=1}^m s_{ij} x_{ij}$$

Так, например, если целью организации является получение "выгодных" проектов (в смысле их "ценности"  $q_{ij}$ ) и в

то же время получение средств из централизованного фонда, то целевая функция организации будет иметь вид:

$$\varphi_i = \sum_{j=1}^m (\omega q_{ij} + s_{ij}) x_{ij}.$$

Ш. Все проекты должны быть назначены, централизованное финансирование отсутствует. Задача УО: определить план  $\{x_{ij}\}$ , обеспечивающий

$$\sum_i s_{ij} x_{ij} \rightarrow \min$$

при ограничениях

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = m_j, \quad j = 1, 2, \dots, m.$$

Запись целевых функций организаций полностью аналогична случаю I.

У. Все проекты должны быть назначены. Имеется централизованный фонд для дополнительного финансирования организаций.

В предыдущих вариантах в задачах УО никак не учитывались интересы подсистем нижнего уровня, то есть интересы организаций. Анализ функционирования сложных систем подтверждает интуитивно очевидное предположение о том, что в таких случаях управляющий орган не может рассчитывать на получение достоверной информации "снизу". Рассмотрим вариант модели системы, в котором реализуется принцип согласованного управления [3].

Задача УО: определить план  $\{x_{ij}\}$  и величины  $\lambda_j$  дополнительного финансирования организаций такие, чтобы

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m s_{ij} x_{ij} \rightarrow \min$$

при ограничениях

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = m_j, \quad j = 1, 2, \dots, m,$$

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} \geq 1, \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

$$[(s_{ij} - \lambda_j) - \min_k (s_{ik} - \lambda_k)] x_{ij} = 0 \quad \text{для всех } i, j$$

Последнее ограничение здесь обязывает УО назначать каждой организации только такие проекты, которые требуют

наименьших затрат самой организации (в соответствии с теми оценками, которые сообщены ей в УО). Действительно, затраты самой организации по проекту  $j$  равны  $(s_{ij} - \lambda_j)$ . Поэтому УО может назначить проект  $j$  организации только в том случае, если величина  $(s_{ij} - \lambda_j)$  будет наименьшей в сравнении с другими проектами.

План  $\{x_{ij}\}$ , полученный из решения задачи УО, в этом случае будет согласованным планом.

Целевые функции организаций могут быть представлены в виде, аналогичном варианту I, с учетом дополнительных средств  $\mathcal{L}_i(x_i) = \sum_{j=1}^m \lambda_j x_{ij}$  (со знаком "плюс" при стремлении организаций к максимизации  $\varphi_i$ ). Если для организации  $i$  все проекты имеют примерно одинаковую ценность, то цель ее можно сформулировать как минимизацию затрат на выполнение полученных проектов:

$$\varphi_i = \sum_{j=1}^m (r_{ij} - \lambda_j) x_{ij}.$$

Все рассмотренные модели содержат, кроме формальной записи задачи управляющего органа, запись задач организаций, причем во всех случаях, кроме варианта IV, эти задачи "развязаны" одна относительно другой. Это означает, что распределение разработок, наилучшее с формальной точки зрения УО, может идти вразрез с интересами организаций; естественно, что последние, зная принцип распределения работ, будут стремиться повлиять на решение УО путем сообщения соответствующей информации о своих возможностях. Понятно, что при этом решение задачи УО будет отличаться от действительно лучшего решения с неформальной точки зрения. Поскольку не существует (и принципиально не может существовать в силу одноразового характера научных исследований) совершенной нормативной базы для НИР, УО, по-видимому, должен учитывать при решении своей задачи интересы подсистем, как это показано, например, в варианте IV.

Исследовать поведение системы в рамках предложенных моделей можно с помощью деловых игр [4]. Метод деловых игр позволяет проанализировать функционирование системы в случаях использования разных принципов и законов управления,

при введении разных функций штрафа и при разных целях подсистем.

### Литература

1. Емельянов С.В., Бурков В.Н. Управление активными системами. Сб. "Активные системы". М., Институт проблем управления, 1973.

2. II симпозиум по проблемам планирования и управления научными исследованиями и разработками на уровне научно-исследовательского учреждения (Москва, 1973). М., ЦЭМИ, 1973, тезисы докладов.

3. Бурков В.Н. Принцип согласованного управления. Настоящий сборник.

4. Горгидзе И.А. и др. Деловая игра "Проект". Сб. "Активные системы". М., Институт проблем управления, 1973.