

# Оперативное управление реализацией научно-технических и инновационных проектов в отраслях АПК

Академик МАИ Я.Г.ГАРАЕВ

НИИ информационных технологий в АПК, г. Москва

Основным механизмом развития приоритетных направлений науки и техники является программно-целевой метод, который реализуется в рамках федеральной целевой научно-технической программы (ФЦНТП). Одна из важнейших задач реализации ФЦНТП – концентрация бюджетных средств на решение актуальных проблем народного хозяйства. На 2002–2006 гг. утверждена программа «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития науки и техники».

Программа реализуется на основе проектов, предусматривающих выполнение научно-исследовательских работ, необходимых для получения новых знаний, решения научно-технических проблем, получения конкретных результатов исследований. Проекты, а также конкретные цели по каждому проекту в виде направлений исследований и проблем, требующих решения, определяются в программных мероприятиях, которые утверждаются Минпромнауки России в установленном порядке.

В рамках программы требования к актуальным для агропромышленного комплекса проектам были сформированы с учетом «Приоритетных направлений развития науки, технологий и техники» и критических технологий федерального уровня. Были определены также их цели и задачи. Эти материалы явились исходными данными для проведения конкурса проектов.

К конкурсу были привлечены эксперты и научная общественность. Исходные материалы опубликованы в журнале «Конкурс». Проекты оценивали с учетом новизны, научно-технического уровня разработок, масштабы сферы применения результатов научных исследований, реальности достижения целей и т.д.

Реализация проектов осуществляется на основе государственных контрактов, заключаемых Минпромнауки России в качестве государственного заказчика с организациями — победителями конкурса, которые выступают в роли головных организаций по проекту.

В рамках указанной выше программы на 2002–2004 гг. предусмотрена реализация 21 проекта по проблемам АПК, в том числе 2 – в блоке «Фундаментально-ориентированные исследования» и 19 – в блоке «Поисковые и прикладные исследования и разработки».

Учитывая большое число научно-технических проектов по проблемам АПК, а также то, что каждый проект, как правило, включает несколько актуальных на-

*A mathematical model for the on-line control of the implementation of scientific-technical and innovation projects in the branches of agricultural industrial complex is a set of linear limitations which describe all possible reasonable requirements arising during solution of the problem being considered.*

For the solution of this multi-criterion problem the method is offered which is based on «convolution» of the vector criterion into the single, generalized one.

Three methods of the convolution of criteria are offered (depending on the approach to the distribution of the dedicated limited means) and their formalized description are offered.

*In all the cases considered the distribution of financial means is reduced to the problem of linear programming. It is shown that for the branches of agriindustrial complex the dimension of the corresponding problems of linear programming is quite moderate.*

учно-технических разработок, выполняемых соисполнителями проекта, особо важно в этих условиях правильное и объективное распределение бюджетных средств между проектами на стадии подготовки программных мероприятий, а также между головными организациями и соисполнителями в процессе оформления контрактов. Работа эта осложняется в случае дефицита бюджетных средств по сравнению с запланированными объемами. Такая ситуация может быть решена с применением математических моделей как многокритериальная задача.

Те же проблемы существуют и при реализации инновационных проектов. Для финансирования инноваций используются в основном средства федерального бюджета, собственные средства и средства внебюджетных фондов. Комплекс инновационных проектов в системе Минпромнауки России, в том числе по проблемам сельского хозяйства и перерабатывающих отраслей АПК, формируется на конкурсной основе. Продолжающийся экономический кризис приводит к дефициту финансового обеспечения инновационной деятельности в АПК. В этих условиях оперативное управление реализацией инновационных проектов в отраслях АПК становится также очень важной и актуальной задачей.

Далее более подробно описывается математическая модель, которая может быть применена для оперативного управления как научно-техническими, так и инновационными проектами в отраслях АПК.

Для удобства изложения вместо выражения «научно-технические (инновационные) проекты» употребляется термин «проекты», вместо «бюджетные ассигнования (инвестиции)» — «финансовые средства», а вместо «организация (подразделение)» — организация.

### Возможные подходы к решению задачи распределения выделенных средств между проектами

При условии выделения ограниченных средств необходимо решить вопрос о том, по какому принципу проводить их распределение. Это непростая задача, поскольку все проекты индивидуальны и трудно сопоставить их значимость. Например, сложно определить, выполнение какого проекта важнее: «Биотехнологические процессы комплексной переработки животноводческого сырья с использованием методов модификации и компьютерного моделирования сырьевых компонентов и готовой продукции» или «Технологии глубокой переработки растительного сельскохозяйственного сырья, обеспечивающие повышение пищевой и биологической ценности продуктов за счет максимального сохранения нативных свойств и обогащения микро- и макронутриентами»?

И тот и другой проекты одинаково нужны, что было подтверждено на стадии формирования программных мероприятий, когда эти проекты были включены в список финансируемых за счет бюджетных ассигнований. Если бы реальное финансирование соответствовало запланированному, то проблемы не существовало бы, но в ситуации дефицита финансовых средств надо принимать рациональное решение по их распределению между организациями-исполнителями. Поскольку на определенном этапе была признана важность всех запланированных проектов, то формально мы должны стремиться максимально выполнить все проекты. Однако поскольку это невозможно, то данная ситуация является типичным примером принятия решения при наличии нескольких критериев. Выделяя значительные средства на выполнение одних проектов, мы тем самым ограничиваем возможность выполнения других. Другими словами, данная ситуация является типичным примером многокритериальной задачи.

## Математическая модель задачи управления ходом реализации проектов

Для описания математической модели введем сначала необходимые для дальнейшего изложения обозначения:

$t$  — время от момента начала выполнения запланированных проектов,

$i$  — номер проекта;

$I$  — множество всех проектов ( $i \in I$ );

$m$  — номер организации;

$M$  – множество всех организаций ( $m \in M$ );

$M_i$  – множество организаций, участвующих в выполнении  $i$ -го проекта;

$I_m$  – множество проектов, в которых участвует  $m$ -я организация;

$\tilde{F}_{im}(t)$  — запланированные финансовые средства, которые должны быть получены  $m$ -й организацией за весь период от начала выполнения  $i$ -го проекта до момента времени  $t$  включительно;

$\bar{F}_{im}(t)$  – реально полученные соответствующие средства до момента времени  $t$ ;

 $\tilde{F}_i(t)$  — финансовые средства, которые было заплани-

ровано выделить на выполнение  $i$ -го проекта всем организациям к моменту времени  $t$  включительно;

$\bar{F}_i(t)$  — средства, реально полученные всеми организациями, участвующими в выполнении  $i$ -го проекта;

$\overline{F}_m(t)$  – финансовые средства, полученные к моменту времени  $t$   $m$ -й организацией;

$\varphi(t)$  — объем выделенных финансовых средств в момент времени  $t$ ;

$\Phi_{im}(t)$  — финансовые средства, выделенные в период времени  $t$   $m$ -й организации на проведение работ по  $i$ -му проекту;

$\varphi_i(t)$  – выделенные финансовые средства на выполнение  $i$ -го проекта;

$\Phi_m(t)$  — средства, полученные  $m$ -й организацией на период времени  $t$ ;

$F_i(t)$  — финансовые средства, выделенные на выполнение  $i$ -го проекта до момента  $t$  включительно;

 $\tilde{F}_i(t)$  — запланированные соответствующие средства.

Приведем теперь все математические соотношения, описывающие данную проблему распределения финансовых средств, затем объясним их смысл.

$$\tilde{F}_i(t) = \sum_{m \in M} \tilde{F}_{im}(t), \quad i \in I, \quad (1)$$

$$\bar{F}_i(t) = \sum_{m \in M_i} \bar{F}_{im}(t), \quad i \in I, \quad (2)$$

$$\bar{F}_m(t) = \sum_{i \in I} \bar{F}_{im}(t), \quad m \in M, \quad (3)$$

$$\sum_{i \in I} \bar{F}_i(t) + \varphi(t) \leq \sum_{i \in I} \tilde{F}_i(t), \quad (4)$$

$$\varphi_i(t) = \sum_{m \in M} \varphi_{im}(t), \quad i \in I, \quad (5)$$

$$\varphi_m(t) = \sum_{i \in I_m} \varphi_{im}(t), \quad m \in M, \quad (6)$$

$$F_i(t) = \bar{F}_i(t) + \varphi_i(t), \quad i \in I, \quad (7)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{m \in M} \varphi_{im}(t) = \sum_{i \in I} \varphi_i(t) = \sum_{m \in M} \varphi_m(t) = \varphi(t), \quad (8)$$

$$\bar{F}_{im}(t) + \varphi_{im}(t) \leq \tilde{F}_{im}(t), \quad i \in I, \quad m \in M, \quad (9)$$

$$\varphi_i(t) \geq \varphi_i^*(t), \quad i \in I^* \subset I, \quad (10)$$

$$\varphi_m(t) \geq \varphi_m^*(t), \quad m \in M^* \subset M, \quad (11)$$

$$\varphi_{im}(t) \geq 0, \quad i \in I, \quad m \in M. \quad (12)$$

Эти 12 групп математических соотношений полностью описывают обсуждаемую проблему.

Перейдем к краткому описанию содержания этих соотношений.

1. Запланированные финансовые средства на  $i$ -й проект равны сумме соответствующих запланированных средств для всех организаций, участвующих в данном проекте.

2. Финансовые средства, выделенные к моменту  $t$  на выполнение  $i$ -го проекта, равны сумме средств, выделенных всем организациям на выполнение этого проекта.

3. Финансовые средства, полученные  $m$ -й организацией к моменту  $t$ , равны сумме средств, полученных этой организацией на проведение исследований по всем проектам.

4. Сумма финансовых средств, выделенных на все проекты до момента  $t$ , и объем выделенных финансовых средств в момент времени  $t$  не должны превосходить объем запланированных финансовых средств в момент времени  $t$ .

Это соотношение не входит в модельное описание проблемы, скорее, оно описывает причину возникновения проблемы, так как если бы в момент  $t$  соотношение (4) выполнялось как равенство, то это бы означало, что финансирование проектов вышло на плановые показатели, однако в реальной жизни бывают моменты, когда в соотношении (4) стоит знак «меньше», что и определяет потребность в решении задачи рационального распределения выделенных средств.

5. Средства, выделенные в момент  $t$  на выполнение  $i$ -го проекта, равны сумме средств, полученных всеми организациями, участвующими в этом проекте.

6. Средства, полученные  $m$ -й организацией в момент  $t$ , равны сумме средств, полученных ею на все проекты.

7. Финансовые средства, выделенные на выполнение  $i$ -го проекта к моменту  $t$  включительно, равны сумме ранее выделенных средств и объему планируемых финансовых средств на этот проект в момент  $t$ .

8. Все выделенные в момент  $t$  ограниченные финансовые средства распределяются между проектами и организациями. Из этой цепочки равенств можно использовать любые возможные попарные равенства.

9. Это ограничение означает, что  $m$ -й организации на выполнение  $i$ -го проекта выделять средства больше, чем запланировано, нельзя, поскольку они могут быть не освоены. Особенно это очевидно для последнего планового периода, когда рассматриваемое неравенство означает, что на выполнение всего  $i$ -го проекта  $m$ -й организации не должно быть выделено финансовых средств больше, чем запланировано.

10. По части проектов из некоторого множества  $I^* \subset I$  может быть сформулировано требование вида (10), отражающее финансовую поддержку некоторых приоритетных проектов.

11. Кроме того, может быть сформулировано требование финансовой поддержки некоторых организаций (из множества  $M^*$ ), которое можно записать в виде (11), где  $\varphi_m^*(t)$  означает некоторый «прожиточный минимум»  $m$ -й организации в момент времени  $t$  (например, минимальный фонд оплаты труда работников данной организации).

12. Ограничение, показывающее, что финансовые средства, выделенные в период  $t$   $m$ -й организации на проведение работ по  $i$ -ому проекту всегда величина положительная или равная 0 (средства не выделены).

Могут быть ограничения типа (10) или (11) с противоположным знаком неравенства, имеющие соответственно противоположный смысл.

Это, пожалуй, все возможные ограничения задачи оперативного распределения выделенных финансовых

средств. В каждой конкретной ситуации ограничения критериального характера [ограничения типа (10), (11)] могут меняться. В частности, могут меняться множества  $I^*$  и  $M^*$ , а также величины  $\varphi_i^*(t)$   $\varphi_m^*(t)$ .

Этими математическими соотношениями полностью описывается обсуждаемая проблема (о критериях задачи речь будет идти ниже).

## Стратегии распределения финансовых средств.

## Критерии задачи

Сформулируем несколько принципов решения рассматриваемой проблемы, вытекающих из общих методов векторной оптимизации, но предварительно сделаем одно естественное допущение: степень выполнения каждого проекта однозначно определяется выделенными на этот проект финансовыми ресурсами. Пусть критерий  $\psi_i$  означает степень выполнения  $i$ -го проекта и зависит только от выделенных на этот проект финансовых ресурсов. Тогда конкретная цель по  $i$ -му проекту состоит в получении достаточного количества средств для достижения максимума критерия  $\psi_i$ . Мы будем считать, что частный критерий, определяющий степень выполнения  $i$ -го проекта до момента времени  $t$  включительно, будет задаваться в виде

$$\psi_i(t) = \frac{F_i(t)}{\tilde{F}_i(t)}, \quad (13)$$

где согласно обозначениям предыдущего раздела:

$F_i(t)$  – финансовые средства, выделенные на выполнение  $i$ -го проекта до момента времени  $t$  включительно;

$\tilde{F}_i(t)$  — запланированные соответствующие средства.

Поскольку, как говорилось выше, имеется желание выполнить все запланированные проекты, т.е. достигнуть  $\max \psi_i$  для всех  $i \in \overline{1, N}$  (а это невозможно при выделении недостаточного количества финансовых средств), то возникает задача векторной оптимизации. В этом случае векторный критерий формально записывают в виде

$$(\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_N) \Rightarrow \max.$$

Все подходы, предлагаемые в данной работе для решения такой задачи, сводятся к свертке критериев  $\Psi_1 \dots \Psi_N$  и решению оптимизационной задачи с одним (свернутым) критерием.

Рассмотрим несколько способов свертки критериев, которые определяют соответствующие стратегии распределения финансовых средств.

- Первый способ, называемый линейной сверткой, определяется формулой

$$\Psi = \sum_{i=1}^N \lambda_i \Psi_i, \quad (14)$$

где весовые коэффициенты  $\lambda_i$  удовлетворяют условиям

$$0 \leq \lambda_i \leq 1, \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1.$$

Решая задачу

$$\max \sum_{i \in I} \lambda_i \frac{F_i(t)}{\tilde{F}_i(t)}, \quad (15)$$

при некоторых фиксированных  $\lambda_i$ , означающих предпочтение одних проектов перед другими, и при ог-

Степень выполнения работ по  $i$ -му проекту определяется функционалом (13). Сформулированную стратегию «подтягивания» наихудших показателей формально можно записать в виде

при ограничениях (1)–(12).

Сначала упорядочиваются по убыванию критерии

Пусть  $\max \psi_i(t)$  достигается на индексе  $l_1$ , второй по величине критерий —  $\psi_{l_2}(t)$  и т.д. Это означает, что к моменту  $t$  наиболее всего выполнен проект  $l_1$ , а затем проект  $l_2$  и т.д. Выделим максимально возможные средства на выполнение проекта  $l_1$ , а затем  $l_2$  и т. д., т.е. будем стимулировать наиболее «продвинутые» проекты. Эта процедура называется лексикографической оптимизацией  $\text{lexmax}(\psi_{l_1}(t), \psi_{l_2}(t), \dots)$  и реализуется следующим образом.

тах  $\psi_l(t)$  при ограничениях (1)–(12). (17)

Решение этой задачи обеспечивает максимальное (с учетом сформулированных ограничений) выполнение проекта номера  $l_1$ . Пусть решение этой задачи равно  $\psi'_l(t)$ .

На втором этапе решается задача максимально возможного выполнения проекта  $I_2$  — второго наиболее «продвинутого» проекта. Эта задача формулируется в виде

при ограничениях (1)–(12) и ограничении

Пусть решение этой задачи равно  $\psi'_{l_2}(t)$ .

при ограничениях (1)–(12) и ограничениях

и так далее, пока не будут исчерпаны все выделенные финансовые средства  $\varphi(t)$ .

Задача с критерием, являющимся экономической сверткой, является задачей линейного программирования.

и (1)–(12).

при ограничениях (1)–(12), где коэффициенты  $\mu_{i_1} > \mu_{i_2} > \mu_{i_3} > \dots$  подобраны соответствующим образом.

Оценим размерность сформулированных задач.

Во-первых, не надо бояться большого количества как выписанных ограничений (1)–(11), так и переменных. При необходимости (и это целесообразно) можно оставить в задаче только переменные  $\varphi_{im}(t)$ , исключив другие, используя соответствующие соотношения типа равенств, которые при этом также исключаются из рассмотрения.

Ограничения (9) преобразуются к виду

$$0 \leq \varphi_{im}(t) \leq \tilde{F}_{im}(t) - \overline{F}_{im}(t), \quad i \in I, \quad m \in M. \quad (25)$$

Поскольку в момент  $t$   $\tilde{F}_{im}(t)$  и  $\bar{F}_{im}(t)$  известны, ограничения (25) являются двухсторонними для переменных  $\varphi_{im}(t)$ ,  $i \in I$ ,  $m \in M$  и не влияют на размерность рассмотренных задач.

В результате останутся только ограничения (8), (10), (11), в которых  $\varphi_i(t)$ ,  $\varphi_m(t)$  заменены соотношениями (5), (6).

Аналогичные замены надо произвести и в критериях. Например, критерий (15) преобразуется к виду

или после последующих преобразований — к виду

Аналогично преобразуются и другие критерии.

Теперь оценим размерность задачи. Для этого надо провести оценку количества проектов  $|I|$  и числа организаций  $|M|$ .

Тогда количество переменных задачи  $P = |I| \cdot |M|$ , а количество ограничений  $Z = |I| + |M| + 1$ .

Для отраслей АПК:  $|I| \approx |M| \approx 20$ ,  $P = 400$ ,  $Z = 41$  т.е. размерность задачи вполне умеренная.

Таким образом, предлагаемую методику с успехом можно использовать для решения задачи оперативного управления реализацией как научно-технических, так и инновационных проектов в отраслях АПК.