

# ОБ ОДНОЙ МОДЕЛИ ПЛАНИРОВАНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Байрамов О.Б.

ФИЦ «Информатика и управление» РАН, Москва, Россия  
orudzh\_bayramov@mail.ru

*Аннотация. Предлагается простая модель планирования исследований (научных, производственных и др.) с учетом ряда требований, связанных с условиями, которые заранее предъявляет центр или координатор. Допускается конкурсное участие исполнителей, исследование ведется с учетом ряда ограничений (сохранение конкретных учреждений, учет квалификаций сотрудников), формулируется критерий.*

*Ключевые слова: задачи планирования, конкурсы, модель, тема, отрасль, квалификация, научные исследования, критерий модели.*

## Введение

Изменение общей обстановки в мире, последние события находят свое отражение, в первую очередь, в экономической ситуации в нашей стране тоже. При финансировании научных исследований и научно-технических работ на предельном уровне, возникает необходимость выбора стратегии финансирования научных организаций, конструкторских бюро, научно-исследовательских учреждений с целью сохранения их научно-технического потенциала и обеспечения проведения приоритетных, необходимых в настоящее время научных, научно-технических работ и исследований особенно в медицине, в сельском хозяйстве, в научно-прикладных отраслях. Актуальным является вопрос о создании и формировании сети научных, научно-технических учреждений соответствующих отраслей, которая способна выполнить стоящие в данный момент задачи. Часть существующих учреждений будет задействована при выполнении новых, поставленных работ, но и может возникнуть необходимость проведения новых исследовательских, испытательных работ, даже создания новых профильных учреждений. Следовательно, задача планирования востребованных исследований неразрывно связана с задачей создания и преобразования сети научных, научно-технических учреждений. Вопросы планирования научных исследований затрагиваются периодически и обсуждаются на различных уровнях – академическом и вузовском ([1]–[5]). Здесь предлагается возможный путь решения задачи с применением математических методов. Предлагаемый подход применим не только в упомянутых отраслях (наука, медицина, сельское хозяйство), но и во многих отраслях экономики (транспорт, освоение новых или развивающихся регионов и др.).

## 1. Постановка задачи

Центр или координирующий орган, получив Задание (например, строительство метро в непростых геологических и др. условиях, развитие новой отрасли в сельском хозяйстве и др.) от более высокой структуры, привлекая доступные (свои и рекомендуемые) ресурсы, на экспертном уровне определяет потенциальных исполнителей. Далее, в пределах выделяемых бюджетных и других доступных средств (средства заказчика, собственные средства, другие источники и т.п.) определяется перечень учреждений и предприятий с учетом имеющихся ресурсов (человеческие, научно-технические и др.). Процедура может повторяться до утверждения окончательного варианта бюджетных средств проекта. Уже на этой стадии решаются такие задачи, как, например, сохранение базового состава коллектива некоторых организаций и предприятий, сочетание конкурсного и централизованного распределения работ по утвержденным организациям и предприятиям с учетом их возможностей на директивной, а также на конкурсной основе. Реальной обычно является ситуация, когда эти два способа планирования работ сочетаются, т.е. исполнители части работ выявляются на конкурсной основе, а выполнение остальных работ и тем (научных и др.) планируется централизованно.

На содержательном уровне постановку задачи планирования научных исследований (для простоты изложения остановимся на этом варианте) можно сформулировать так: известен перечень научных тем, которые желательно разрабатывать, например, в текущем году. Известен объем работ на текущий год по заранее запланированной тематике. По части тем объявлен конкурс и в результате имеются конкурирующие заявки с указанием необходимых финансовых, материально-технических затрат и состава привлекаемых научных кадров. Известна также информация об объемах выполняемых научных работ в научных организациях не за счет бюджетного финансирования.

Ставится задача: выбрать из числа конкурсных заявок исполнителей тем, сформировать планы исполнения остальных, неконкурсных тем (определить научные организации-исполнители и

соответствующее финансирование) таким образом, чтобы затраты бюджетных средств на планируемые исследования были бы минимальны. При этом надо учитывать кадровые и материально-технические возможности научных организаций, затраты, обмен информацией. В случае нехватки бюджетных средств в предполагаемых диапазонах план выполняемых работ оценивается финансово невыполнимым и тогда требуется исключить из плана некоторые темы. Оптимизационная работа решается заново до тех пор, пока не будет получено приемлемое с точки зрения бюджетного финансирования решение. На следующем этапе полученное решение также должно быть проанализировано экспертами с точки зрения других критериев, не являющихся критерием задачи.

Эти критерии: 1) критерии, которые были учтены в виде ограничений задачи (например, желание сохранить бюджетное финансирование какому-нибудь институту, выражающееся в виде ограничения снизу на обязательное финансирование этого института), 2) неформализованные критерии (например, экспертное предпочтение одних научных организаций другим в выполнении определенных тем).

## 2. Модель задачи планирования исследований на конкурсной основе

Введем некоторые обозначения:

пусть  $I$  – множество номеров всех тем, которые предполагаются финансировать из госбюджета,

$i$  – номер темы,  $i \in I$ ,

$r$  – номер отрасли науки,  $R$  – множество номеров всех научных отраслей,  $r \in R$ ,

$m$  – номер научной организации,  $M$  – множество всех организаций,  $m \in M$ .

В общем случае научная тема состоит из исследований в различных научных отраслях. Пусть для выполнения  $i$ -й научной темы в текущем году требуется  $L_{ir}^p$  научных сотрудников  $r$ -й научной специализации и  $T_{ir}^c$  научно-технических фондов (в стоимостном выражении). Считается, что наличие такого количества сотрудников и научно-технического оборудования гарантирует выполнение работ по этой теме. Таким образом, каждую тему можно задавать в виде двух векторов:  $L_r^p$  и  $T_r^c$ ,  $L_{ir}^p = (L_{i1}^p, \dots, L_{ir}^p, \dots, L_{i\beta}^p)$ ,  $T_i^c = (T_{i1}^c, \dots, T_{ir}^c, \dots, T_{i\beta}^c)$ . При необходимости каждую компоненту  $T_{ir}^p$  можно в свою очередь, рассматривать в виде вектора  $T_i^p = (T_{ir1}^p, \dots, T_{irx}^p, \dots, T_{irq}^p)$ , где  $T_{iq}^p$  – трудозатраты на проведение исследований по  $i$ -й теме научными работниками  $r$ -й отрасли  $q$ -й квалификации (группа сотрудников делятся на соответствующие категории согласно принятым квалификационным и должностным стандартам). Выше были упомянуты способы планирования научных работ отрасли – централизованный и с помощью проведения конкурсов. Введем некоторые обозначения, позволяющие формализовать этот процесс планирования. Сперва остановимся на конкурсных проектах.

Пусть они составляют множество  $I^c$ . Будем считать, что на выполнение  $i$ -й научной темы имеется множество  $K_i$  конкурсных проектов. Пусть  $k$ -й проект ( $k \in K_i$ ) характеризуется следующими параметрами:

$M_{ik}$  – множество институтов, которые участвуют в выполнении работ по  $i$ -й теме в  $k$ -м конкурирующем проекте;

$L_{ikmx}^p$  – количество сотрудников  $x$ -й квалификации,  $x_{ik}$   $r$ -й научной отрасли,  $m$ -го института, участвующих в работе по  $k$ -му конкурсному проекту,  $i$ -й научной теме.

Пусть также

$f_{ikm}$  – планируемый фонд зарплаты в  $m$ -й научной организации в  $k$ -м конкурсном проекте по  $i$ -й теме, а

$\Phi_{ikm}$  – соответствующие средства на развитие научно-технической базы в  $m$ -й научной организации.

Введем булеву переменную  $x_{ik}$ , характеризующую решение о том, будет ли принят  $k$ -й проект для выполнения  $i$ -й темы,  $x_{ik} = 1$  означает, что проект принят,  $x_{ik} = 0$  – в противном случае.

Поскольку из всего множества проектов может быть выбран только один проект, должно выполняться ограничение:

$$\sum_{i \in I, k \in K} x_{ik} \cdot \quad (1)$$

С учетом введенных обозначений из бюджетных средств на проведение всех конкурсных тем будет затрачено

$$\sum_{i \in I^c} \sum_{k \in K_i} \sum_{m \in M_{ik}} (f_{ikm} + \varphi_{ikm}) \times x_{ik} . \quad (2)$$

Здесь предполагается, что одна и та же научная организация может участвовать в нескольких конкурсных проектах одной темы. В  $m$ -й научной организации на проведение всех конкурсных тем будет использовано

$$\sum_{i \in I^c} \sum_{k \in K_i} L_{ikmp} \times x_{ik} \quad (3)$$

сотрудников  $r$ -й научной отрасли,  $q$ -й квалификации. Всего же  $m$ -я научная организация за участие во всех конкурсных темах получит из бюджета средств в количестве:

$$\sum_{i \in I^c} \sum_{k \in K_i} (f_{ikm} + \varphi_{ikm}) \times x_{ik} . \quad (4)$$

## 2.1. Модель планирование исследований. Централизованное составление плана

Выше было сказано, что каждая тема задается двумя наборами, а дополнительные затраты на научно-техническое обеспечение исследований по  $i$ -й теме зависят от того, какие организации будут выполнять эти научные исследования. Задача Центра – рационально распределить работы, обеспечивающие выполнение темы, по научным организациям. Опишем возможность создания новых научных организаций. Пусть имеется несколько мест, в которых могут быть расположены научные организации  $r$ -й научной специальности. Множество этих пунктов –  $G_m$ , а  $b_{mr}$  – максимально возможное количество научных работников в таком  $m$ -м пункте, структура научных сотрудников по квалификации задана набором чисел –  $\beta_{mrx}$ , т.е. достаточно задать общую численность научной организации  $u_{mr}$ , а число сотрудников  $x$ -й квалификации будет равно  $\beta_{mrx} \times u_{mr}$ . Введем переменную

$$z_{mr} = \begin{cases} 1, & \text{если в } m \text{-м пункте создается научная организация,} \\ 0 & \text{– в противном случае.} \end{cases} \quad (5)$$

Тогда справедливо следующее соотношение:

$$0 \leq u_{mr} \leq z_m \beta_{mr} . \quad (6)$$

Затраты на создание такой научной организации определяются следующей разрывной функцией:

$$\xi_{mr} = \begin{cases} 0, & \text{если } u_{mr} = 0, \\ \alpha + \beta \times u_{mr}, & \text{если } 0 < u_{mr} \leq \beta_{mr}. \end{cases} \quad (7)$$

Через  $y_{irxm}$  обозначим количество сотрудников в  $m$ -й научной организации, участвующих в  $i$ -й теме, специализирующихся в  $r$ -й научной отрасли и имеющих  $x$ -ю квалификацию. Должно выполняться равенство:

$$\sum_{m \in M} y_{irxm} = L_{irx}^p, \quad i \in I, r \in R, x \in Q. \quad (8)$$

Для того чтобы в задаче не получилось такого решения, когда некоторые  $y_{irxm}$  малы, потребуем, чтобы выполнялось неравенство:

$$y_{irxm} \geq a_{ir} \times L_{irx}^p, \quad (9)$$

где  $a_{ir}$  – некоторое заданное число, например,  $a_{ir} = 0.01$ .

Для дальнейшего нам необходимо предположить, что справедлива следующая гипотеза связи численности научных сотрудников  $y_{irxm}$  и научно-технических фондов  $z_{irm}$ :

$$z_{irm} = T_{ir}^p \times \sum_{x \in X} y_{irxm} / L_{irx}^p. \quad (10)$$

Введенные переменные  $z_{irm}$  должны удовлетворять следующему ограничению на фонды научно-технических средств научной организации:

$$\sum_{i \in I^v} z_{im} \leq \Phi_{mr}^c + \delta_{mr}, \quad m \in M, \quad r \in R, \quad (11)$$

где  $\Phi_{mr}^c$  – существующие свободные фонды организации к моменту распределения тем, а  $\delta_{mr}$  – дополнительные фонды, выделенные из бюджетных средств, при условии, что  $m$ -я организация будет участвовать в разработке научных тем, планируемых централизованно, т.е.

$$\delta_{mr} = 0, \text{ если } \sum_{i \in I^v} \sum_{r \in R} z_{im} = 0. \quad (12)$$

Свободные фонды организации равны разности:

$$\Phi_{mr}^c = \Phi_{mr}^o - \gamma \times \Phi_{mr}^u, \quad (13)$$

где  $\Phi_{mr}^o$  – суммарные фонды  $m$ -й организации,  $\Phi_{mr}^u$  – фонды, используемые на проведение работ небюджетного финансирования,  $\gamma$  – некоторая константа, определяющая часть фондов  $\Phi_{mr}^u$ , которая может быть использована в других работах.

Пусть  $m$ -я организация за проведение работ, финансируемых не из государственного бюджета, получит денег в количестве  $F_m^e$  и пусть  $F_{mr}$  – «прожиточный» минимум этой организации, позволяющий ей существовать. Если имеется желание сохранить некоторые организации (пусть они образуют множество  $G \subset M$ ), то для них должно выполняться ограничение

$$\sum_{i \in I^c} \sum_{k \in K_i} (f_{ikm} + \varphi_{ikm}) + \sum_{i \in I^v} \sum_{r \in R_i} \sum_{x \in Q} a_{xm} + y_{irxm} \geq F_m - F_m^e, \quad (14)$$

где  $a_{xm}$  – зарплата сотрудника  $x$ -й квалификации в  $m$ -й организации. Количество научных сотрудников организации, задействованных во всех работах, не должно превышать общей численности сотрудников института с учетом того факта, что каждый сотрудник может принимать участие более чем в одной теме.

Если обозначить через  $L_{rxm}^o$  общее количество сотрудников  $r$ -й научной отрасли  $\chi$ -й квалификации  $m$ -й организации, а через  $L_{rxm}^e$  количество сотрудников, занятых в работах небюджетного финансирования, то ограничение на суммарную численность организации можно представить в виде:

$$\sum_{i \in I^c} \sum_{k \in K_i} L_{ikrmx} \times x_{ik} + \sum_{i \in I^v} y_{irxm} \leq \gamma_i \times (L_{rxm}^o - L_{rxm}^e), \quad r \in R, \quad x \in Q, \quad m \in M. \quad (15)$$

В этом случае имеется взаимно-однозначное соответствие между индексами  $m$  и  $r$ .

В процессе выполнения работ по научной теме необходим обмен информацией между исполнителями. Часто эти затраты бывают велики и их необходимо учитывать. Будем рассматривать два вида связей – командировки и обмен информацией по почте, телефону и др. Эти связи осуществляются по следующей схеме. Научные организации поддерживают связи с организацией-головным исполнителем, а та, в свою очередь, поддерживает связь с Центром. При централизованном планировании научных тем необходимо назначить такого головного исполнителя. Будем предполагать, что имеется несколько таких кандидатов. Множество всех таких кандидатов по теме обозначим через  $G_{m^0}^i$ . Введем переменную:

$$v_m^i = \begin{cases} 1, & \text{если выбран кандидат } m, \\ 0 & \text{– в противном случае.} \end{cases} \quad (16)$$

Должно выполняться соотношение:

$$\sum_{i \in I^v} \sum_{m \in G_{m^0}^i} v_m^i = 1. \quad (17)$$

Если учитывать всех конкурентов на звание головного исполнителя по  $i$ -й теме, то коммуникационные затраты выражаются в виде:

$$\sum_{m \in G_{m^0}^i} v_m^i \times \left( \sum_{i \in I^v} a_{ms} \sum_{r \in R} \sum_{x \in Q} y_{irxm} + a_{m^0} \sum_{r \in R} \sum_{x \in Q} y_{irxm} \right), \quad (18)$$

где  $a_{ms}$  – суммарный тариф (рассчитанный на одного сотрудника) на связь  $m$ -й и  $s$ -й организации (индекс «0» означает Центр). Головной исполнитель, как и все остальные исполнители, должны быть выбраны из некоторых рациональных соображений, которые отражает критерий задачи.

## 2.2. Критерий задачи планирования научных исследований

Будем выбирать победителей конкурсов на проведение научных работ и составлять централизованный план выполнения других работ, исходя из минимума суммарных затрат на проведение намеченного плана исследований. Соответствующая двойственная задача – при ограниченном бюджетном финансировании максимизировать количество выполненных работ. Однако, при этом возникают сложности с определением понятия максимума выполненных работ. Кроме того, конкретный критерий – минимальные затраты – используется только лишь как удобное средство в проведении диалоговой процедуры определения рационального решения, учитывающей по существу и многие другие критерии. Таким образом, критерий задачи – суммарные затраты на проведение всех планируемых работ имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} & \sum_{i \in I^v} \sum_{k \in K_i} (f_{ikm} + \varphi_{ikm}) \times x_{ik} + \sum_{i \in I^v} \sum_{r \in R} \sum_{x \in Q} (a_{xm} \times y_{irxm} + \delta_{mr}) + \\ & + \sum_{m \in G_{mr}} \sum_{r \in R} (a_{mr} \times z_{mr} + \beta_{mr} \times u_{mr}) + \\ & + \sum_{i \in I^v} \sum_{m \in G_{m^0}^i} v_m^i \times \left( \sum_{i \in I^v} a_{ms} \sum_{r \in R} \sum_{x \in Q} y_{irxm} + a_{m^0} \sum_{r \in R} \sum_{x \in Q} y_{irxm} \right) \rightarrow \min \end{aligned} \quad (19)$$

## 3. Заключение

Нам представляется, что предлагаемая модель планирования, являясь простой, носит в целом, общий характер. Она применима во многих отраслях, а стремительно меняющаяся обстановка в мире, решение внутренних проблем конкретной страны, вопросы развития отдельного региона не обходится без решения «на ходу» множества аналогичных практических задач. Некоторые вопросы, связанные с размерами входных данных, могут быть разрешены введением дополнительных ограничений. Можно рассматривать и двойственную задачу – при ограниченном бюджетном финансировании максимизировать количество выполненных работ, но при этом возникают сложности с определением понятия максимума выполненных работ. Нельзя исключить влияние объема информации, необходимой для обработки принятия решения по поставленной задаче. Также приемлемым является подход получения первоначального решения без некоторых ограничений с дальнейшим его улучшением, включая те или иные ограничения в зависимости от конкретного задания, которое в процессе работы уточняется.

## Литература

1. Новиков Д.А., Суханов А.Л. Модели и механизмы управления научными проектами в вузах. М.: Институт управления образованием РАО, 2005. – 80 с.
2. Антропов В. А., Шеломенцев А. Г. Планирование НИР на университетской кафедре. // Управление исследованиями в вузе. Екатеринбург, 2015. – С. 17–27.
3. Планирование и организация научных исследований. Составитель В.И. Комлацкий. – Краснодар: Куб. ГАУ, 2019. – 16 с.
4. Планирование и организация научных исследований. Составитель В.П. Яковлев. – СПбГУ ПТД, 2022. – 89 с.
5. Шарбчиев Ю.Т. Методология и планирование научных исследований в медицине. // Медицинские новости, 1998, № 4. – С. 21–24.