

**РОССИЙСКАЯ  
АКАДЕМИЯ НАУК  
ИНСТИТУТ  
ПРОБЛЕМ  
УПРАВЛЕНИЯ**

**ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ  
МЕХАНИЗМЫ УПРАВЛЕНИЯ  
НАУЧНО – ТЕХНИЧЕСКИМИ  
ПРОГРАММАМИ**

**ПРЕПРИНТ**

**Москва 1993**

УДК.65.012

ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ МЕХАНИЗМЫ УПРАВЛЕНИЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИМИ ПРОГРАММАМИ. - М., 1993 (Препринт/Институт проблем управления).

В работе рассматриваются некоторые организационные механизмы формирования научно-технических программ и механизмы стимулирования их реализации. В частности, рассматриваются механизмы согласия в процедурах принятия экспертных решений при финансировании проектов и направлений программ, описываются принципы построения процедур оценивания научно-технических проектов. Представлены методы формирования противозатратных механизмов, заключения договоров и контрактов на выполнение научно-технических заданий между заказчиком и исполнителем, исследуются конкурсные механизмы отбора и финансирования разработок. Задача определения функций стимулирования за выполненные работы при заключении контрактов исследуется для случая влияния неопределенных случайных факторов на результаты работ.

Авторы: *Бурков В.Н., Грацианский Е.В., Евалеев А.К., Умрихина Е.В.*

Рецензент: д.т.н. Кульба Е.В.

Текст препринта воспроизводится в том виде, в котором представлен авторами.

Утверждено к печати Редакционным советом Института

## О г л а в л е н и е

|   |    |
|---|----|
| Введение .....  | 4  |
| 1. Задачи управления при формировании и выполнении ГИТП .....   | 6  |
| 2. Механизмы согласия в задачах финансирования программ .....   | 9  |
| 3. Принципы формирования процедур оценки проектов<br>и результатов выполнения работ .....                         | 29 |
| 4. Противозатратные механизмы формирования<br>договорных цен .....  | 47 |
| 5. Конкурсные механизмы при формировании<br>тематика исследований .....   | 53 |
| 6. Механизмы стимулирования работ и определения санкций<br>за отклонение фактических результатов от задания ..... | 56 |
| Заключение .....  | 63 |
| Литература .....  | 63 |

## Введение

Государственные научно-технические программы относятся к числу важнейших приоритетов государственной научно-технической политики.

В системе их разработки, организации и реализации проявляются тенденции, присущие периоду перехода экономики к рыночным отношениям. К ним относятся: утверждение на практике принципа избирательности в отношении поддержки как исследований, так и научных организаций; сохранение лучших российских научных школ в области фундаментальных исследований; разгосударствление сферы НИОКР и ее адаптация к рыночным принципам хозяйствования; переход от финансирования научных организаций к финансированию целевых проектов и программ; обеспечение множественности источников финансирования; создание и использование региональных и целевых фондов поддержки научно-технического развития; обеспечение социальной защиты научно-технических кадров.

Обеспечение необходимых структурных сдвигов в народном хозяйстве при сохранении научно-технического потенциала возможно достичь только путем концентрации материальных и финансовых ресурсов на прорывных направлениях, способных создать технологии, соответствующие или превосходящие лучшие мировые достижения.

В государственных научно-технических программах предусматривается разработка преимущественно тех проблем, решение **которых** призвано революционизировать производство на узловых, определяющих участках и стать основой для подтягивания общего уровня техники и технологий.

Финансирование работ по государственным программам основывается на гибком сочетании бюджетных средств государственной поддержки и средств заинтересованных предприятий и организаций. Делаются первые шаги в направлении создания новых форм финансового обеспечения научно-технической дея-

тельности - создаются инновационные фонды, страховые компании, системы льгот и кредитов и т.д., объединяющие средства государства и коммерческих структур.

Число государственных научно-технических программ ежегодно сокращается, остаются только те, которые связаны с решением неотложных задач, сохранением задела на перспективу. Каждая программа пересматривается, проходит экспертизу, уточняется по составу проектов и исполнителей.

При выборе проектов государственных научно-технических программ предпочтение отдается работам, имеющим заказчика, гарантированные и короткие сроки внедрения, а также связанным с решением социальных проблем: оздоровлением экологической обстановки, ресурсосбережением, высокоэффективным производством продовольствия, здравоохранением, разработкой прогрессивных технологий в химии, металлургии, на транспорте, в строительстве и других отраслях народного хозяйства страны.

Реализуются также программы, нацеленные на перспективу и предусматривающие, в частности, создание информационных технологий, новейших методов биоинженерии, машин и производств будущего, развитие исследований в области физики высоких энергий, высокотемпературной сверхпроводимости, управляемого термоядерного синтеза, проблем космоса, мирового океана, генома человека и других.

На указанных приоритетных направлениях ведутся не только прикладные исследования, но проводятся фундаментальные работы Российской академией наук, ее отделениями, а также отраслевыми академиями и научными коллективами высшей школы.

Важнейшим инструментом реформирования научно-технической сферы является частичная приватизация учреждений науки. Приватизация их не исключает государственного финансирования, а переводит его на конкурсную, контрактную основу, с выдачей разовых "грантов" конкретным специалистам или коллективам, победившим в соревновании за право участия

в проекте или задании государственной научно-технической программы.

Особенности организации управления научно-техническими программами при переходе к рынку вызывают необходимость пересмотреть привычные подходы, разработать и внедрить механизмы управления, адекватные современным условиям.

В условиях формирования рыночных отношений все большую роль начинают играть децентрализованные механизмы управления. Поэтому при организации управления наукой и поддержке научных исследований на основе научно-технических программ становятся все более актуальными задачи разумного сочетания централизованного и децентрализованного регулирования при выборе организационных механизмов управления формированием и реализацией научно-технических программ.

### **1. Задачи управления при формировании и выполнении ГНТП**

В соответствии с постановлением правительства Российской Федерации (№ 638, 27 августа 1992 г.) "Об организации работ по реализации Закона Российской Федерации "О поставках продукции и товаров для государственных нужд" определен общий порядок разработки и реализации федеральных целевых программ. В нем отмечается, что программа должна содержать обоснование проблемы, анализ ее исходного состояния, конкретизированные качественно и количественно основные цели и задачи, этапы и сроки выполнения программы, взаимоувязанную систему программных мероприятий, обоснование финансовых, материальных и трудовых затрат, сведения о государственном заказчике программы и потенциальных исполнителях и соисполнителях работ, а также механизм осуществления программы, включая систему стимулирования санкций и льгот выполнения заказов, предложения по организации управления реализацией программы и контроля за ходом ее выполнения, оценку социально-экономической эффективности и экологических последствий от реализации программных мероприятий.

Наряду с механизмом реализации программы необходим механизм формирования программы.

Крупные государственные научно-технические программы, например, такие как "Безопасность населения и народнохозяйственных объектов с учетом риска возникновения природных и техногенных катастроф" или "Глобальные изменения природной среды и климата", имеют сложную структуру, включают очень широкую тематику исследований, охватывают большое число организаций, институтов, творческих коллективов и исполнителей. Программы включают как фундаментальные исследования, так и прикладные НИОКР. Они имеют достаточно сложную иерархическую структуру (рис.1), включающую до 5-6 уровней. Очевидно, полностью централизованное управление формированием и реализацией таких сложных программ невозможно, да и нецелесообразно. Централизованные механизмы управления могут использоваться при определении и финансировании направлений исследований, проблем и основных проектов. Для выбора проектов, подпроектов и заданий, а также распределения финансовых средств между творческими коллективами - исполнителями целесообразно использовать децентрализованные механизмы, основанные на регулируемых рыночных отношениях и заключении государственных контрактов.

Ниже будет рассмотрен ряд механизмов, позволяющих решать задачи управления формированием и реализацией научно-технических программ. Это механизмы согласия, обеспечивающие согласование интересов в работе экспертных советов и комиссий, механизмы оценивания эффективности проектов и результатов их реализации; противозатратные механизмы формирования договорных цен на работы, выполняемые по заданиям программы; конкурсные механизмы выбора наиболее перспективных проектов и их финансирования и, наконец, механизмы определения санкций за отклонение результатов работ от заданий программы.

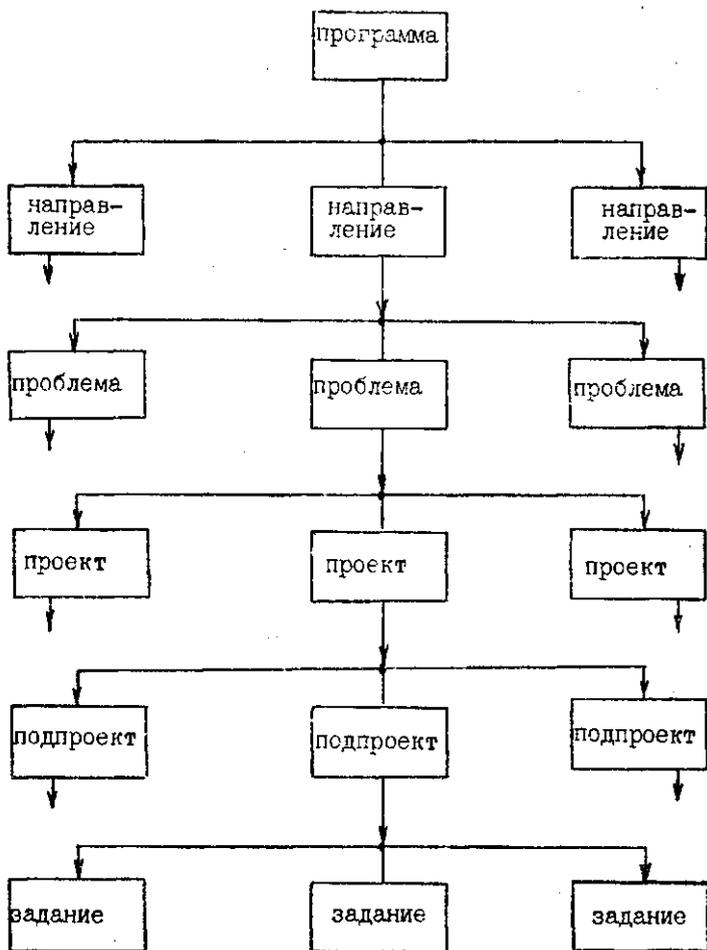


Рис. I.

## 2. Механизмы согласия в задачах финансирования программы

### 2.1. Описание задачи. Анализ существующего механизма

Задача финансирования программы заключается в распределении общего объема финансирования программы между направлениями и проектами. Решение принимается коллегиально, научным советом по программе или, соответственно, научными советами по направлениям. Как правило, члены научных советов по направлениям выступают в качестве экспертов для оценки технических заданий и обоснования объемов финансирования. В качестве экспертов привлекаются также специалисты, не входящие в научные советы по направлениям.

Очевидно, что каждый эксперт имеет свое мнение по требуемому объему финансирования, и мнения различных экспертов не совпадают. Как принять решение в этом случае?

Ситуацию, связанную с принятием согласованного решения при наличии несовпадающих точек зрения, академик Н.Н.Моисеев называл институтом согласия, а механизмы, обеспечивающие принятие согласованного решения - механизмами согласия [1].

Общепринятым на практике является следующий механизм. По каждому направлению формируется экспертный совет из ведущих специалистов по этому направлению. Совет формирует проект программы работ по направлению (на конкурсной основе) и оценивает требуемый объем финансирования. Эти данные представляются в научный совет по программе, задачей которого является принятие окончательного решения о финансировании направлений.

Недостатки такого механизма очевидны. Экспертный совет по каждому направлению, естественно, заинтересован в финансировании работ по своему направлению (поскольку члены экспертного совета, как правило, представляют организации, претендующие на участие в программе по соответствующему направлению). В силу этого, представленные экспертными советами оценки на требуемое финансирование в сумме превышают

объем финансирования программы в целом.

В этом случае вся тяжесть принятия решения ложится на научный совет по программе, который должен "урезать" представленные заявки. Поскольку научный совет по программе состоит во многом из представителей научных советов по направлениям или из экспертов, то окончательное решение принимается либо в режиме "перетягивания каната", а значит, во многом случайным образом, либо вырабатывается некоторый единый принцип "урезания". Наиболее распространен принцип пропорционального урезания (принцип прямых приоритетов), когда происходит сокращение финансирования всех направлений на одну и ту же долю (например, если запрашиваемые средства превышают выделенные на 20%, то заявки по всем направлениям уменьшаются на 20%). В любом случае такой механизм согласия приводит к тенденции завышения требуемых объемов финансирования по направлениям. Эта тенденция усиливается в силу объективных трудностей оценки затрат по направлениям, а также подобной тенденции к завышению затрат на уровне научных коллективов, представляющих заявки на участие в программе. Помимо этого, отсутствие тесной связи между экспертными советами по направлениям не позволяет им оценить сравнительную (относительную) важность финансирования тех или иных работ.

## 2.2. Эффективный механизм согласия

Опишем механизм согласия, в определенной степени свободный от отмеченных выше недостатков существующей схемы. Основная идея состоит в том, что создаются экспертные советы по смежным направлениям (по парам направлений). При этом, одно из направлений является базовым (общим для всех экспертных советов). Так, для программы "Безопасность" таким базовым может быть направление "Создание системы правового и экономического регулирования безопасности".

Действительно, эффективная реализация результатов всех других направлений невозможна без соответствующей системы правовых и экономических механизмов.

Рассмотрим сначала идею предлагаемого механизма на примере из трех направлений, из которых направление 3 является базовым. В этом случае создаются два смежных экспертных совета. Первый экспертный совет занимается оценкой направлений 1 и 3, а второй - 2 и 3. Каждый экспертный совет выработывает решение об относительных размерах финансирования соответствующих направлений. А именно, во сколько раз финансирование по направлению 1 (соответственно 2) должно быть больше (меньше), чем по базовому направлению 3.

Обозначим соответствующие оценки экспертных советов через  $s_1$  и  $s_2$ .

Это значит, что финансирование по первому (второму) направлению должно быть в  $s_1$  ( $s_2$ ) раз больше, чем по базовому. На основе этой информации определяется вариант финансирования направлений  $\{x_i\}$  по следующим формулам:

$$x_1 = s_1/(1+\sigma), \quad x_2 = s_2/(1+\sigma), \quad x_3 = 1/(1+\sigma)$$

(в долях от заданного объема финансирования по программе), где

$$\sigma = s_1 + s_2.$$

Этот вариант и представляется научному совету для обсуждения и принятия решения. Отметим ряд свойств описанного механизма. Во-первых, соотношение объемов финансирования базового направления со всеми другими точно соответствует оценке соответствующего экспертного совета (то есть мнение экспертного совета учтено в полной мере). Во-вторых, как будет показано ниже, экспертные советы заинтересованы в представлении объективной оценки относительного объема финансирования по соответствующим

направлениям (то есть отсутствует тенденция сознательного завышения или занижения оценок  $s_1$  и  $s_2$  или, как говорят, отсутствует манипулирование данными). В-третьих, обсуждение важных вопросов финансирования по смежным направлениям в одном экспертном совете помогает обменяться результатами по этим направлениям, что облегчает их взаимное использование и повышает результативность программы. Наконец, научному совету по программе предлагается сбалансированный вариант финансирования направлений, что облегчает обсуждение и принятие окончательного решения.

### 2.3. Механизм согласия как механизм честной игры

Покажем, что экспертные советы ничего не выигрывают, манипулируя данными. Рассмотрим сначала численный пример.

Таблица 1

| Экспертные советы | Направления |     |   |
|-------------------|-------------|-----|---|
|                   | 1           | 2   | 3 |
| 1                 | 2           | 1/2 | 1 |
| 2                 | 1           | 3   | 1 |

В таблице 1 приведены истинные оценки экспертных советов о требуемых объемах финансирования по направлениям относительно базового направления 3. Для полноты картины мы указали оценки требуемых объемов финансирования по всем направлениям, включая и те, которые данный экспертный совет не оценивает. Тем не менее мы считаем, что у экспертного совета имеется определенное мнение о сравнительных объемах финансирования этих направлений.

Пусть общий объем финансирования по программе соответствует 60 млн.руб. Если экспертные советы предоставят объективную информацию о сравнительных объемах финансирования (то есть  $s_1=2$ ,  $s_2=3$ ), то соотношение объемов финансирования составит 2:3:1, а соответствующее распределение финансирования  $x_1=20$ ,  $x_2=30$ ,  $x_3=10$  (в млн.руб).

Рассмотрим поведение первого экспертного совета. С его точки зрения распределение объемов финансирования должно быть следующим:

$$x_1=(4/7) \times 60 = 34, \quad x_2=(1/7) \times 60 = 9, \quad x_3=(2/7) \times 60 = 17.$$

Очевидно, что экспертный совет хотел бы увеличить финансирование направлений 1 и 3 (не изменяя по возможности соотношения объемов) за счет направления 2. Посмотрим, может ли экспертный совет добиться этого, манипулируя своей оценкой  $s_1$ . Пусть, например, экспертный совет сообщил завышенную оценку  $s_1=4>2$ .

Тогда распределение объемов финансирования по направлениям будет:

$$x_1 = 30, \quad x_2 = 22,5, \quad x_3 = 7,5.$$

Хотя в сумме по направлениям 1 и 3 финансирование увеличивалось (37,5 вместо 30), но по направлению 3 оно значительно уменьшилось (более чем в два раза), что вряд ли устроит экспертов, представляющих интересы третьего направления.

Рассмотрим другой вариант манипулирования: экспертный совет занижает сообщаемую оценку до  $s_1=1$ . Соответствующее распределение объемов

$$x_1 = 12, \quad x_2 = 36, \quad x_3 = 12.$$

Здесь ситуация еще хуже. Не только финансирование по первому направлению уменьшилось почти в два раза, но

уменьшилось и суммарное финансирование по первому и третьему направлениям.

Покажем теперь, что полученный результат справедлив при достаточно естественных предположениях для общего случая  $(n+1)$  направлений и, соответственно,  $n$  экспертных советов. Без ограничения общности будем считать направление  $(n+1)$  базовым. Обозначим  $s_i$  оценку сравнительного объема финансирования по  $i$ -му направлению (по сравнению с базовым), представляемую  $i$ -ым экспертным советом в научный совет по программе. Соответствующий вариант распределения объемов финансирования имеет вид:

$$x_j = s_j / (1 + \sigma), \quad x_{n+1} = 1 / (1 + \sigma), \quad j = 1, \dots, n \quad (1)$$

где, как и ранее,  $\sigma = \sum_{i=1}^n s_i$ . Обозначим далее  $a_{ij}$  оценку

сравнительного объема финансирования по  $j$ -ому направлению по отношению к базовому направлению, объективно отражающую точку зрения  $i$ -го экспертного совета.

Заметим, что  $i$ -ый экспертный совет представляет только оценку  $s_i$  по  $i$ -ому направлению, то есть оценку величины  $a_{ii} = a_i$ . Отсутствие манипулирования означает, что  $s_i = a_i$  является доминантной стратегией для всех экспертных советов. Как уже отмечалось выше, каждый экспертный совет заинтересован в том, чтобы распределение объемов финансирования было возможно ближе к распределению, отражающему его точку зрения, что для  $i$ -го совета соответствует распределению

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{1 + A_i}, \quad \text{где} \quad A_i = \sum_{j=1}^n a_{ij}, \quad j=1, \dots, n,$$

$$r_{i,n+1} = \frac{1}{1 + A_i}.$$

Близость распределений объемов финансирования будем оценивать величиной

$$J_i(r_i) = \min_j (x_j / r_{ij}) = [(1+A_i)/(1+\sigma)] \min_j (s_j / a_{ij}; 1).$$

Примем в дальнейшем, что  $s_j = a_{ij}$  для  $i = j$ , то есть, что оценка экспертного совета  $j$  по соответствующему  $j$ -ому направлению превышает объективную оценку любого другого экспертного совета по тому же  $j$ -му направлению. Это предположение представляется достаточно обоснованным, поскольку в каждом экспертном совете участвуют ведущие специалисты по соответствующим направлениям, естественно, более заинтересованные в развитии этого направления, чем другие. По этой причине данное предположение будем называть гипотезой достаточной заинтересованности (ДЗ). Полагая, что гипотеза ДЗ имеет место, целевую функцию  $i$ -го экспертного совета  $J_i$  можно записать в виде:

$$J_i = [(1+A_i)/(1+\sigma)] \min_j (s_j / a_{ij}; 1) = \min_j (x_j / r_j; x_{i+1} / r_{i+1}), \quad (2)$$

где  $r_{i+1} = 1/(1+A_i)$ ,  $r_j = a_{ij}/(1+A_i)$ .

Покажем, что максимальная близость  $\{x_j\}$  к  $\{r_j\}$ , то есть максимум величины  $J_i$ , достигается при  $x_j = r_j$  для всех экспертных советов.

*Теорема 1.* При гипотезе ДЗ сообщение истинной оценки  $a_{ij}$  является доминантной стратегией каждого экспертного совета.

*Доказательство.* Нам нужно доказать, что значение  $J_i$  при  $x_j = r_j$  больше (не меньше), чем при любом другом  $x_j$ .

Обозначим величину  $J_i$  при  $s_i = a_i$  через

$$J_i^* = [(1+A_i)/(1+\sigma_i)] \min_{j \neq i} (s_j/a_{ij}; 1) = (1+A_i)/(1+\sigma_i),$$

где  $\sigma_i = a_i + \sum_{j \neq i} s_j$ . Здесь мы воспользовались гипотезой ДЗ, в

силу которой  $s_j/a_{ij} \geq 1$  для всех  $j \neq i$ .

Если  $s_i > a_i$ , то  $\sigma > \sigma_i$  и

$$J_i = [(1+A_i)/(1+\sigma)] \min(s_i/a_i; 1) = (1+A_i)/(1+\sigma) < (1+A_i)/(1+\sigma_i) = J_i^*.$$

Если  $s_i < a_i$ , то  $s_i/a_i < 1$  и

$$J_i = ((1+A_i)/a_i) \times s_i / (1+\sigma) < (1+A_i)/(1+\sigma_i) = J_i^*,$$

так как  $s_i/(1+\sigma)$  - возрастающая функция  $s_i$ .

Теорема доказана.

Механизмы, для которых сообщение достоверной информации является доминантной стратегией, в теории активных систем называются механизмами открытого управления или "честной игры" [2-5]. Определяющим свойством механизмов честной игры является существование для каждого экспертного совета множества вариантов (планов) распределения объемов финансирования  $Z_i(s_{-i})$ , такого, что план  $x = x(s)$  обеспечивает максимум так называемой функции предпочтения экспертного совета (активного элемента системы) на этом множестве (условия совершенного согласования). Функцией предпочтения  $J_i(s_i)$  называется оценка целевой функции активного элемента, получаемая при подстановке в его целевую функцию сообщаемых оценок  $s = \{s_i\}$  вместо истинных параметров. Подставив в выражение (2) для целевой функции  $s_i$  вместо  $a_i$ , полу-

чим функцию предпочтения:

$$J_1(s_1) = \min(x_1/s_1; x_{n+1})(1+S_1), \text{ где } S_1 = s_1 + \sum_{j=1}^n s_j.$$

Множество  $Z_1(s_1)$  может зависеть от оценок  $s_{-j} = \{s_j, j=1\}$  всех других активных элементов, кроме  $i$ -го. Как известно, множество  $Z_1(s_1)$  определяется следующим образом:

$$Z_1(s_1) = \bigcup_{s_i \in \Omega_1} \pi(s_1, s_{-1}).$$

где  $\Omega_1$  - множество возможных оценок  $s_1$  в нашем случае  $0 \leq s_1 \leq \infty$ .

Из процедуры (1) легко получить следующий вид этого множества (рис.2):

$$\begin{aligned} 1/(2+H_1) &= z_{n+1} = 1/(1+H_1), \\ z_1(s_{-1}) &= z_1 = 1 - z_{n+1}(1+H_1), \\ z_j &= s_j z_{n+1}, \quad j=1, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $H = \sum_{j=1}^n s_j$ . Выпишем условия совершенного согласования:

$$\min(x_1/s_1; x_{n+1}) = \max_{z \in Z_1(s_1)} \min(z_1/s_1; z_{n+1}), \quad i=1, \dots, n. \quad (4)$$

Проверим, что из этих условий действительно получается процедура распределения объемов финансирования (1). Для этого достаточно заметить, что оптимальное решение задачи (4) удовлетворяет условию  $z_1 = s_1 z_{n+1}$ . Определяя точку пересечения этого луча с прямой  $z_1 = 1 - z_{n+1}(1+H_1)$ , получаем:

$$x_{n+1} = 1/(1+\sigma), \quad x_1 = s_1/(1+\sigma),$$

что в точности совпадает с (1).

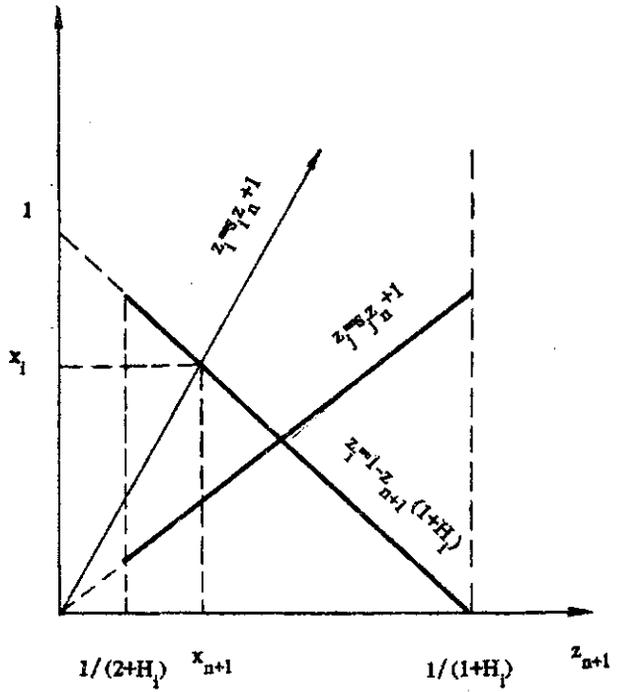


Рис. 2.

#### 2.4. Справедливость гипотезы достаточной заинтересованности для случая трех направлений

Гипотеза ДЗ является принципиальным условием, отсутствие которого делает выгодным для экспертных советов манипулирование данными (более точно при нарушении гипотезы ДЗ возникает тенденция занижения сообщаемых оценок). Поэтому весьма важно рассмотреть случаи, когда гипотеза ДЗ безусловно справедлива.

Пусть программа состоит из трех направлений. Покажем, что в этом случае всегда можно выбрать базовое направление таким образом, что гипотеза ДЗ будет справедливой. Для этого рассмотрим произвольную таблицу относительных объемов финансирования направлений.

Таблица 2

| Экспертные<br>советы | Направления |          |          |
|----------------------|-------------|----------|----------|
|                      | 1           | 2        | 3        |
| 1                    | $a_{11}$    | $a_{12}$ | $a_{13}$ |
| 2                    | $a_{21}$    | $a_{22}$ | $a_{23}$ |

*Теорема 2.* Для случая трех направлений всегда можно выбрать базовое направление так, что гипотеза ДЗ будет справедливой.

*Доказательство.* Рассмотрим три определителя:

$$\Delta_{12} = a_{11} a_{22} - a_{21} a_{12},$$

$$\Delta_{13} = a_{11} a_{23} - a_{21} a_{13},$$

$$\Delta_{23} = a_{12} a_{23} - a_{22} a_{13}.$$

Без ограничения общности можно принять, что  $\Delta_{13} \neq 0$ , поменяв в случае необходимости номера экспертных советов.

Пусть базовым является направление 3. Тогда для справедливости гипотезы ДЗ необходимо и достаточно выполнение условия

$$a_{22}/a_{23} \geq a_{12}/a_{13}, \text{ или } \Delta_{23} \geq 0. \quad (5)$$

Если базовым является направление 1, то для справедливости гипотезы ДЗ необходимо и достаточно, чтобы

$$a_{12}/a_{11} \geq a_{22}/a_{13}, \text{ или } \Delta_{12} \geq 0. \quad (6)$$

Наконец, если базовым выбрать направление 2, то справедливость гипотезы ДЗ достигается при выполнении следующего условия:

$$\Delta_{12} \cdot \Delta_{23} \geq 0, \quad (7)$$

что, фактически, эквивалентно паре условий:

$$\text{либо } \Delta_{12} \geq 0 \text{ и } \Delta_{23} \geq 0,$$

$$\text{либо } \Delta_{12} \leq 0 \text{ и } \Delta_{23} \leq 0.$$

Нетрудно показать, что хотя бы одно условие будет выполнено. Действительно, если не выполняется (5) и (6), то обязательно выполняется (7). Зная знаки трех направлений, пользуясь следующей таблицей, можно определить базовое направление, при котором справедлива гипотеза ДЗ (см.таблицу 3).

Таблица 3

|               | Направления |   |   |
|---------------|-------------|---|---|
|               | 1           | 2 | 3 |
| $\Delta_{12}$ | -           | + | - |
| $\Delta_{13}$ | +           | + | + |
| $\Delta_{23}$ |             | + | - |

Пример.

Таблица 4

| Экспертные<br>советы | Направления |   |   |
|----------------------|-------------|---|---|
|                      | 1           | 2 | 3 |
| 1                    | 6           | 5 | 4 |
| 2                    | 3           | 4 | 5 |

Имеем  $\Delta_{12} = 9 > 0$ ,  $\Delta_{13} = 18 > 0$ ,  $\Delta_{23} = 9 > 0$ .

Из таблицы 3 находим базовое направление 2.

Нормируя по второму направлению, получаем таблицу 5.

Таблица 5

| Экспертные<br>советы | Направления |   |      |
|----------------------|-------------|---|------|
|                      | 1           | 2 | 3    |
| 1                    | 1,2         | 1 | 0,8  |
| 2                    | 0,75        | 1 | 1,25 |

При этом первый экспертный совет оценивает направления 1 и 2, а второй - 2 и 3. Очевидно, гипотеза ДЗ справедлива. Итоговые оценки соотносятся как 1,2:1:1,25.

Пример.

Таблица 6

| Экспертные<br>советы | Направления |   |   |
|----------------------|-------------|---|---|
|                      | 1           | 2 | 3 |
| 1                    | 5           | 3 | 2 |
| 2                    | 3           | 5 | 2 |

Имеем:  $\Delta_{12} = 16 > 0$ ,  $\Delta_{13} = 4 > 0$ ,  $\Delta_{14} = -4 < 0$ .

Из таблицы 3 находим базовое направление 3. Итоговые оценки 5:5:2. Этот пример стоит рассмотреть подробнее. Пусть объем финансирования программы составляет  $R = 60$ . Тогда итоговое распределение по направлениям

$$x_1 = 25, \quad x_2 = 25, \quad x_3 = 10. \quad (8)$$

Заметим, что с точки зрения первого экспертного совета распределение должно быть

$$x_{11} = 30, \quad x_{12} = 18, \quad x_{13} = 12.$$

Нетрудно заметить, что относительно третьего направления мнения обоих экспертных советов совпадают. С этой точки зрения итоговое распределение может показаться менее удовлетворительным, чем, скажем, среднее из двух предпочтительных для экспертных советов:

$$x_1^* = 24, \quad x_2^* = 24, \quad x_3^* = 12. \quad (9)$$

Однако, подсчитав относительную близость, мы обнаружим, что итоговое распределение (8) более

предпочтительно. Действительно, для итогового распределения

$$J_1 = \min (25/30; 25/18; 10/12) = 5/6,$$

$$J_2 = \min (25/18; 25/30; 10/12) = 5/6,$$

в то время как для среднего (9)

$$J_1 = \min (24/30; 24/18; 12/12) = 4/5 < 5/6,$$

$$J_2 = \min (24/18; 24/30; 12/12) = 4/5 < 5/6.$$

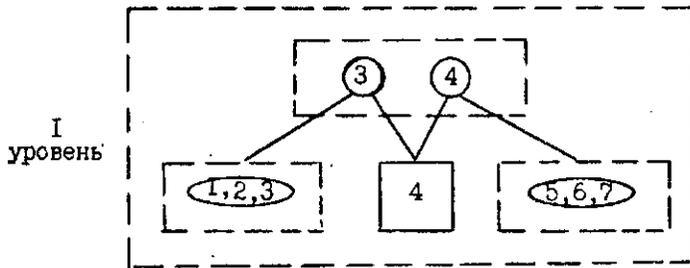
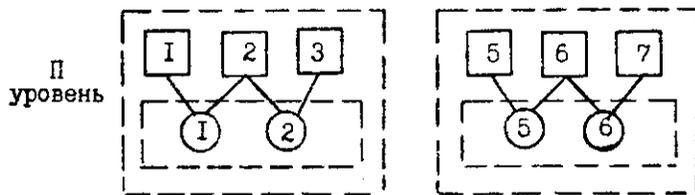
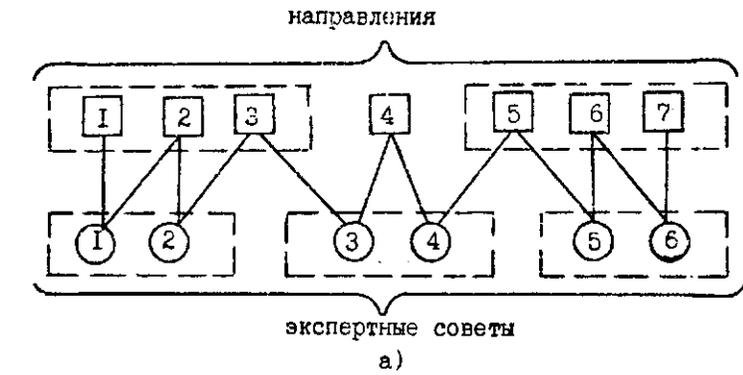
Этот пример показывает, что единодушное мнение всех экспертных советов по поводу финансирования какого-либо направления не означает, что финансирование в таком объеме этого направления является наилучшим решением.

#### 2.5. Определение иерархической структуры экспертных советов

Возможность обоснования гипотезы ДЗ при соответствующем выборе базового направления для случая трех направлений делает целесообразным определенную структуризацию экспертных советов "по тройкам". Это достигается на основе иерархической структуры. Пусть, например, число направлений равно 7.

На рис. 3а представлена возможная структура интересов шести экспертных советов по семи направлениям. Ребра указывают на наличие существенного интереса данного экспертного совета в финансировании соответствующего направления. Содержательно это означает, что оценка величины относительного финансирования по данным направлениям существенно выше, чем по другим.

В данном случае естественно образование двух "тросок": одна - из направлений 1, 2 и 3 с базовым направлением 2 и экспертными советами 1 и 2, другая - из направлений 4, 5 и 6 с базовым направлением 5 и экспертными советами 5 и 6.



б)

Рис. 3.

Результаты работы экспертных советов 1 и 2 сообщаются экспертному совету 3, который имеет интерес в финансировании направления 3 (а следовательно, и всего укрупненного направления (1,2,3), поскольку относительные оценки объемов финансирования те определены экспертными советами 1 и 2). Аналогично, результаты работы экспертных советов 5 и 6 сообщаются экспертному совету 4 (в виде оценок относительных объемов финансирования направлений 5, 6 и 7). Экспертные советы 3 и 4 работают по укрупненным направлениям (1,2,3) и (5,6,7) и направлению 4 с базовым направлением 4. На основе результатов работы этих советов формируется вариант финансирования, представляемый в научный совет по программе.

Таким образом, структура механизма согласия является двухуровневой (рис.36): на верхнем уровне - советы 3 и 4, а на нижнем - советы (1,2) и (5,6).

Рассмотрим еще один пример. Пусть экспертные советы сформированы таким образом, что структура их интересов имеет вид рис. 4а. В этом случае структура механизма согласия будет уже другой.

Сначала работают экспертные советы 5 и 6 по направлениям 5, 6 и 7 с базовым направлением 7, затем - экспертные советы 3 и 4 по направлениям 3, 4 и укрупненному направлению (5,6,7) с базовым укрупненным направлением (5,6,7). Наконец, экспертные советы 1 и 2 работают по направлениям 1,2 и укрупненному направлению [3,4(5,6,7)] с базовым укрупненным направлением. В этом случае, структура механизма является трехуровневой (рис. 4б).

Таким образом, структура механизма согласия зависит от состава экспертных советов, определяющего интерес экспертных советов к финансированию тех или иных направлений.

Задача подбора экспертов для экспертных советов является весьма важной, поскольку состав экспертов определяет структуру интересов экспертных советов, а значит, и структуру механизма согласия. Естественно приятель, что каждый эксперт может быть ведущим специалистом, но не более чем по двум направлениям (поскольку направления программы охватывают довольно крупные области знаний). Поэтому, для облег-

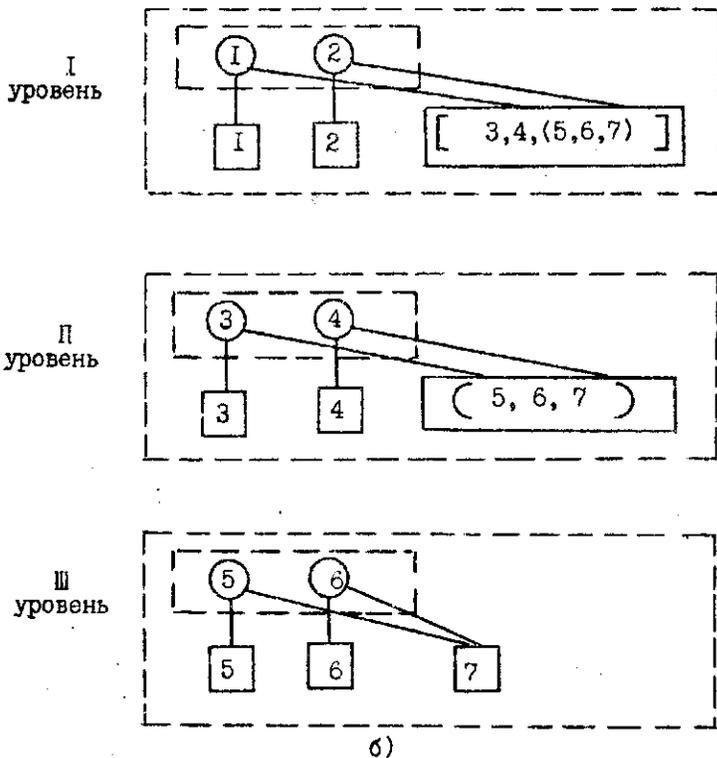
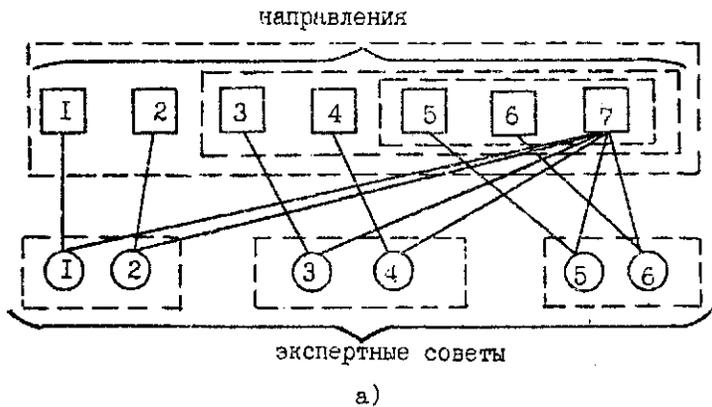


Рис. 4.

чения принятия решения на уровне экспертных советов к повышению обоснованности этого решения целесообразно включение в состав экспертного совета специалистов, заинтересованных в развитии (а значит, и финансировании) обоих направлений, которыми занимается данный экспертный совет, хотя, естественно, допустимо включение ведущих специалистов только по одному из этих направлений. Предварительный опрос ведущих специалистов, выясняющий степень их компетентности и заинтересованности в развитии тех или иных направлений, позволяет сформировать экспертные советы, удовлетворяющие поставленному условию (в случае необходимости предпринимается специальный поиск эксперта по паре смежных направлений).

## 2.6. Задача принятия решений экспертным советом

Рассмотрим задачу выработки экспертным советом решения об относительном финансировании соответствующего направления (по сравнению с базовым). Примем, что экспертный совет состоит из  $m$  экспертов, каждый из которых имеет свое субъективное мнение об оценке  $s_i$  относительного объема финансирования, которую должен сформировать экспертный совет. Обозначим мнение  $i$ -го эксперта через  $r_i$ . Разумно принять в качестве объективного мнения экспертного

совета среднюю оценку всех экспертов  $s = 1/n \sum_{i=1}^n r_i$ ,

либо средневзвешенную  $s = \sum_{i=1}^n \beta_i s_i$ , где  $\beta_i$  - вес оценки  $i$ -го

эксперта, отражающий уровень его компетентности,  $\beta_i > 0$ ,  $\sum \beta_i = 1$ . Однако, механизм усреднения мнений всех экспертов имеет существенный недостаток - он подвержен манипулированию. Это и понятно, поскольку каждый эксперт, стремясь приблизить среднюю оценку к своей субъективной оценке  $r_i$ , будет либо завышать (если его оценка выше средней), либо занижать (если его оценка ниже средней) свою оценку.

Как построить механизм согласия для экспертного

совета, свободный от манипулирования и дающий оценку экспертного совета, максимально близкую к средней всех объективных оценок (или к средневзвешенной), если мнения экспертов имеют разный вес в силу их квалификации и звания соответствующих направлений? Эта задача была рассмотрена в работах [6,7]. Приведем ее решение. Пусть задан отрезок допустимых оценок  $s_i$  экспертов, то есть  $d \leq s_i \leq D$ .

Оценка экспертного совета определяется на основе оценок  $s_i$  всех экспертов по следующей процедуре: упорядочим оценки экспертов по возрастанию и перенумеруем их соответственно, то есть  $s_1 \leq s_2 \leq \dots \leq s_n$ .

Определим числа  $W(Q) = [1 - A(Q)] D + A(Q) d$ , где  $Q$  - любое подмножество экспертов,

$$A(Q) = \sum_{k \in Q} \beta_k.$$

Находим номер  $g(s)$  такой, что:

$$w_{g(s)-1} > s_{g(s)-1}, \quad w_{g(s)} \leq s_{g(s)}, \quad \text{где}$$

$$w_i = W(Q_i), \quad Q_i = \{1, 2, \dots, i\}, \quad i=1, \dots, n-1,$$

и определяем итоговую оценку

$$x = \min [w_{g(s)-1}, s_{g(s)}].$$

Доказано, что полученный механизм согласия является механизмом "честной игры" и, следовательно, каждый эксперт сообщает свое истинное субъективное мнение:  $s_i = \gamma_i$ . Кроме того, описанный механизм минимизирует абсолютное

отклонение полученной оценки от средневзвешенной  $\gamma = \sum_{i=1}^n \beta_i \gamma_i$ .

### 3. Принципы формирования процедур оценки проектов и результатов выполнения работ

В процессе формирования и контроля за реализацией программы часто возникают задачи, в которых необходимо оценить эффективность, перспективность, приоритетность предлагаемых проектов, заданий, а также качество, степень выполнения и целесообразность продолжения проводимых работ.

К задачам такого типа относятся:

- выбор наиболее перспективных проектов из множества предлагаемых для включения в программу;
- оценка рейтинга исполнителей;
- приоритетность финансирования и выполнения работ;
- оценка степени соответствия получаемых результатов по проектам и заданиям поставленным целям и др.

Принятие решения по этим вопросам осуществляется исполнительной дирекцией программы, руководителями проектов, а также экспертными комиссиями на основе комплексной оценки рассматриваемых объектов (проектов, заданий, коллективов исполнителей).

Несмотря на специфику каждого из указанных объектов, при их оценке возникают общие проблемы, в том числе:

1) объект, как правило, характеризуется набором разнородных показателей (качественных, количественных), отражающих различные аспекты их функционирования (экономические, социальные, технические, экологические и т.д.);

2) многие показатели не являются измеримыми, данные часто носят прогнозный характер;

3) структура системы оценочных критериев, как правило, является многоуровневой.

Сложность описания оцениваемых объектов, неполнота информации об их характеристиках обуславливают необходимость использования неформальных, эвристических, экспертных методов в процессе их оценки.

С точки зрения использования экспертных методов можно выделить два основных типа процедур комплексного оценивания:

- а) процедуры, использующие экспертные методы непосред-

ственно для оценки реальных проектов, коллективов исполнителей и других объектов [8];

б) формализованные процедуры оценивания, которые используют экспертные методы на стадии разработки и настройки правил оценивания.

Процедуры первого типа заключаются в том, что эксперты на основе своих собственных неявных критериев и алгоритмов оценивают конкретные объекты (представленные на конкурс проекты, исполнителей, результаты выполнения работ по проекту или заданию и т.д.). Такие процедуры, как правило, используются в случаях, когда критерии оценки трудно выявить и структурировать.

Процедуры второго типа предполагают использование формальных алгоритмов обработки объективной и экспертной информации.

Разработка и применение таких процедур возможна в тех случаях, когда удастся сформировать иерархическую систему критериев оценки объекта. Тогда может быть разработана достаточно универсальная (для рассматриваемой группы объектов) методика определения комплексной оценки в соответствии с выбранным деревом критериев и с учетом мнений экспертов об их важности.

В этом случае информация, получаемая от экспертов, используется для настройки правил оценивания, а сама оценка объектов осуществляется по заранее разработанному алгоритму.

Процедура формирования комплексной оценки сложного объекта (проекта, работы, коллектива исполнителей и т.д.) должна удовлетворять ряду требований, в том числе:

- возможность формирования комплексной оценки на основе разнородных исходных показателей;
- учет различной важности критериев и показателей (с точки зрения конечных целей данного проекта, работы);
- гибкость процедуры, то есть возможность оперативной корректировки и настройки ее параметров при многократном повторении процесса оценивания.

В качестве базовой процедуры такого типа может быть

предложена разработанная в Институте проблем управления автоматизированная процедура комплексного оценивания (9,10), которая была использована для оценки результатов деятельности и оценки состояния на ряде объектов народного хозяйства.

В основе процедуры - алгоритм последовательного обобщения оценок от уровня исходных показателей до уровня обобщающей (комплексной) оценки в соответствии с заданной критериальной структурой.

Пусть в соответствии со структурой дерева целей, построенной с учетом требований ЛПР, сформировано дерево оценочных критериев, или дерево оценок, на верхнем уровне которого - комплексная (итоговая) оценка, на нижнем уровне - оценки по исходным показателям, на промежуточных уровнях - промежуточные оценки, представляющие собой результат обобщения оценок предыдущих уровней.

Промежуточные обобщенные оценки соответствуют оценкам объекта в некоторой области (или в некотором аспекте), характеризующейся конкретной группой показателей из множества исходных показателей. Промежуточные обобщенные оценки могут иметь самостоятельное значение для принятия управленческих решений.

Один из возможных вариантов общей структуры дерева оценок для комплексной оценки проекта, используемой при подведении итогов конкурса, приведен, в качестве примера, на рис.5, а на рис.6 - более детальная декомпозиция одного из блоков нижнего уровня.

Пусть для оценки проектов используется множество разнородных показателей  $\{P_j\}$ ,  $j=1, \dots, m$ , имеющих различную относительную значимость (важность).

Каждый проект  $i$ ,  $i=1, \dots, n$ , характеризуется вектором  $y_i$  фактических (ожидаемых, прогнозируемых) значений показателей,  $y_i = (y_{i1}, \dots, y_{ij}, \dots, y_{im})$ . Кроме того, может быть определен вектор  $x_i$  эталонных (желаемых) значений этих показателей,  $x_i = (x_{i1}, \dots, x_{ij}, \dots, x_{im})$ .

Значения показателей  $\{y_{ij}\}$ ,  $\{x_{ij}\}$  могут быть как количественными, так и качественными, по ряду показателей

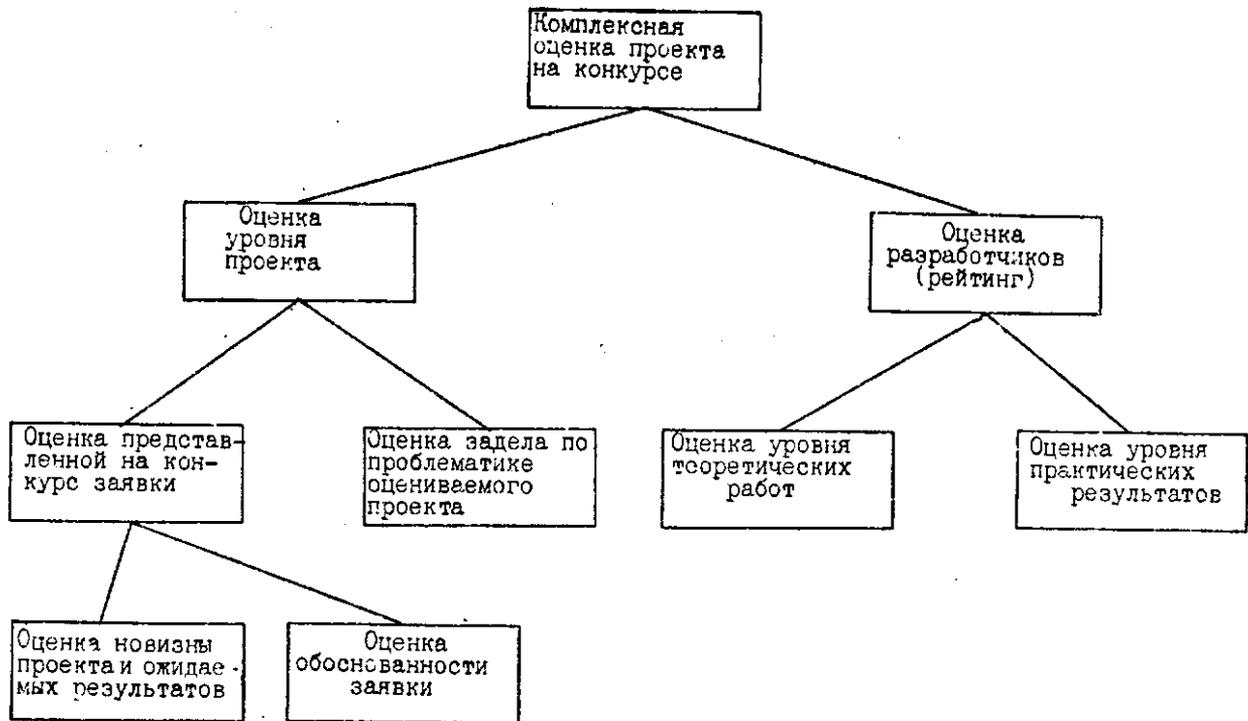


Рис. 5.

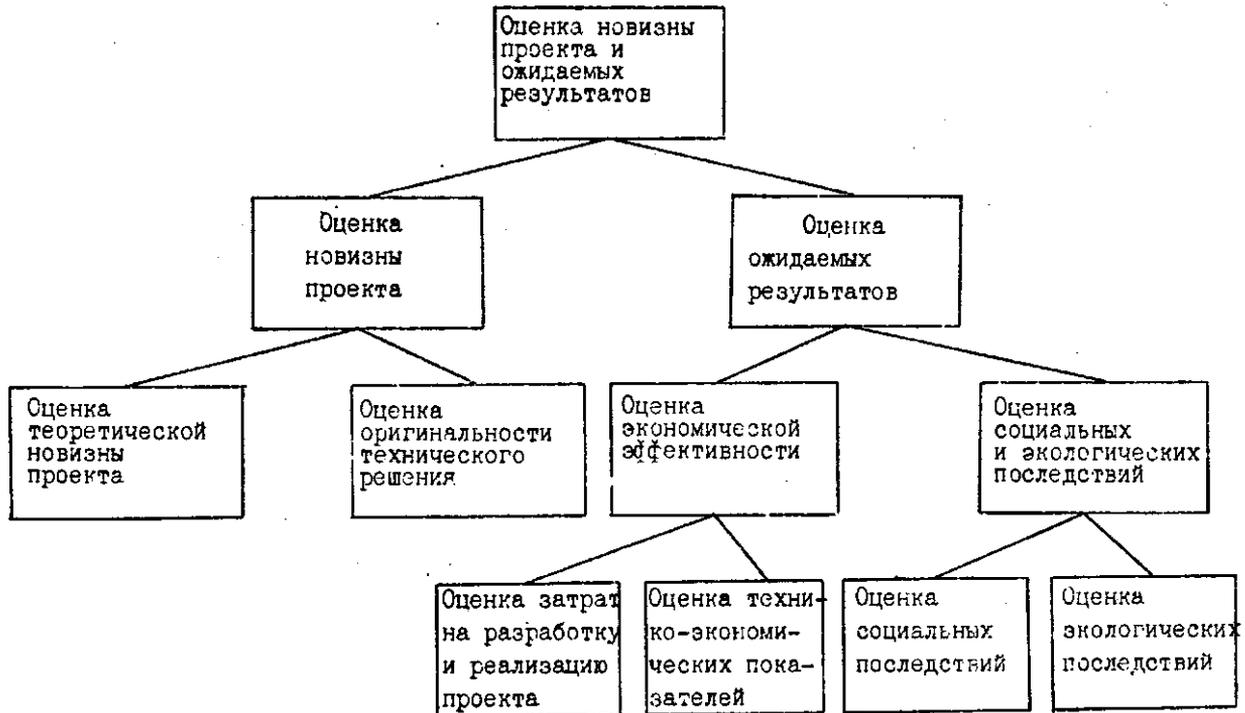


Рис. 6.

могут иметь характер объективных данных, а по ряду - предполагать экспертное оценивание; кроме того, часть исходных данных может отсутствовать.

Рассмотрим схему формирования комплексной оценки проектов, отражающей степень отклонения фактических значений его характеристик от эталонных (рис. 7).

В соответствии с этой схемой на первом шаге для каждого проекта по каждому исходному показателю  $\Pi_j$ ,  $j=1, \dots, m$ , в соответствии с правилом нормирующего преобразования  $\Pi_j$  осуществляется сравнение фактического (прогнозируемого) значения по данному показателю и желаемого (нормативного, планового, эталонного) значения  $x_{ij}$ , ( $i$  - индекс оцениваемого проекта).

В качестве  $\Pi_j$  могут использоваться различные правила, вид которых определяется из соображений удобства работы и содержательного смысла каждого показателя (например, %-ное соотношение факта и эталона, абсолютное (относительное) отклонение и т.д.). Обычно показатели оценки выбирают таким образом, чтобы обеспечить их единую направленность: чем больше отнормированное значение  $d_{ij} = \Pi_j(x_{ij}, y_{ij})$ , тем лучше.

Формируется вектор  $d_i = (d_{i1}, \dots, d_{ij}, \dots, d_{im})$  отнормированных значений.

На следующем шаге для каждого проекта осуществляется расчет оценок по показателям (частных оценок)  $k_{ij} = \varphi_j(d_{ij})$  и формируется вектор частных оценок  $k_i = (k_{i1}, \dots, k_{ij}, \dots, k_{im})$ , где  $\varphi_j(\cdot)$  - предварительно установленные функции оценки, имеющие смысл правил оценки конкретного результата, достигнутого по показателю  $\Pi_j$ .

Необходимо отметить, что в ряде конкретных задач оценивания по некоторым показателям в качестве исходной информации могут выступать не  $x_{ij}$  и  $y_{ij}$ , а уже отнормированные значения  $d_{ij}$  или даже частные оценки  $k_{ij}$ , полученные, например, от эксперта.

Далее, в соответствии с заданной структурой "дерева оценок", производится последовательное агрегирование (свертка) частных оценок в промежуточные обобщенные оценки

Комплексная  
итоговая оценка

Свертка  
обобщенных  
промежуточных  
оценок

Обобщенные  
промежуточные  
оценки

Свертка  
частных оценок

Расчет частных  
оценок по  
показателям

Нормирующие  
преобразования

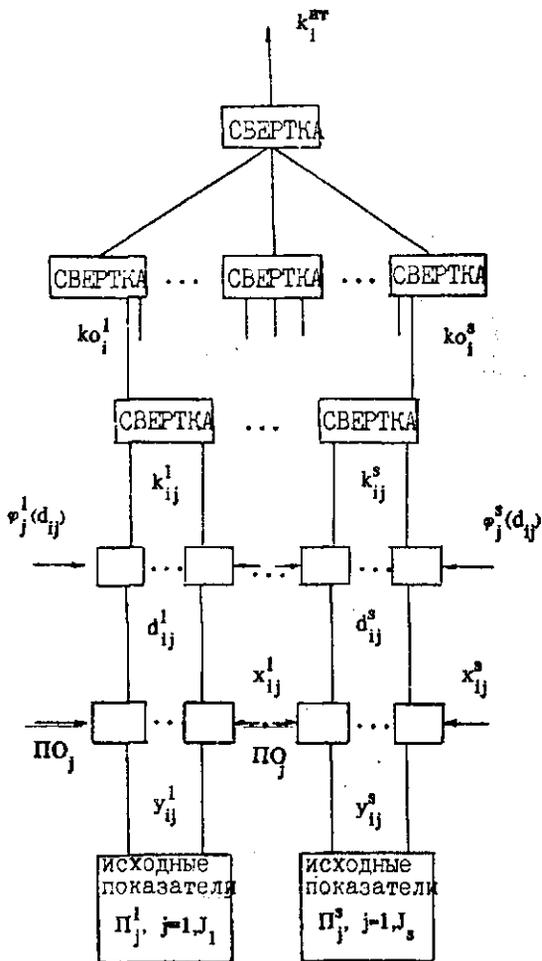


Рис. 7.

(по группам показателей, областям и направлениям деятельности и т.д.), которые, в свою очередь, агрегируются в итоговую комплексную оценку проекта  $k_i^{ит}$ .

На любом уровне агрегирования, при необходимости, может осуществляться переход от непрерывной количественной шкалы оценок к дискретным шкалам, к оценкам в виде содержательных категорий и т.д.; итоговая оценка также может быть представлена в виде числа, смысловой категории; по результатам оценивания проекты могут быть проранжированы или разбиты на классы. Вид итоговой оценки определяется с учетом требований ЛПР, в зависимости от того, в каких механизмах эта оценка будет использоваться.

Рассмотренная схема является базовой при разработке процедур оценивания для реальных объектов и должна быть настроена с учетом специфики оцениваемых проектов, требований ЛПР, механизмов управления, в которых будут использованы полученные комплексные оценки.

Настройка процедуры оценивания (при сформированном дереве оценок и фиксированном наборе исходных показателей) включает ряд задач, в том числе:

- выбор нормирующих преобразований;
- определение вида и параметров частных функций оценки;
- выбор оценочных шкал;
- выбор типа процедур агрегирования (свертки) и настройка их параметров;
- выбор методов перехода от непрерывных шкал к дискретным.

О выборе нормирующих преобразований упомянуто выше, при описании схемы формирования комплексной оценки.

Вопросы выбора, классификации шкал, условий их применения исследованы, в частности, в работах по квалиметрии (например, [11]).

К числу наиболее распространенных методов перехода к дискретным шкалам относятся нормативный метод и метод автоматической классификации при различных критериях оптимальности разбиения оцениваемых объектов на классы [12].

Остановимся более подробно на проблеме выбора частных

функций оценки и процедур свертки. Это обусловлено недостаточной изученностью проблемы, а также тем обстоятельством, что именно выбор сверток и частных функций оценки позволяет реализовать принцип учета различной важности (значимости) отдельных показателей и критериев оценки.

Частные функции оценки по показателям  $\varphi_j(d_{ij})$  необходимы для того, чтобы оценить результаты, достигнутые (или ожидаемые) каждым оцениваемым объектом по каждому исходному показателю.

В качестве функции оценки  $\varphi_j(\cdot)$  могут использоваться аналитическая функция, алгоритм, словесное правило, таблица и т.п. Выбор вида  $\varphi_j(\cdot)$ , ее параметров - эвристическая процедура, которая осуществляется с учетом накопленной информации о влиянии конкретных значений  $d_{ij}$  на степень близости оцениваемого объекта к эталону. При этом используются экспертные оценки, данные статистического анализа, действующие нормативные документы. Выбор  $\varphi_j(\cdot)$  является своеобразным рычагом управления, позволяющим изменять вес той или иной характеристики в общей оценке.

В качестве примера наиболее распространенного типа  $\varphi_j(\cdot)$  для случая количественных показателей можно использовать кусочно-линейные функции (возможный вид представлен на рис.8), монотонные по  $d_{ij}$ . Точка "0" на оси абсцисс соответствует ситуации, когда фактическое значение показателя совпадает с нормативным (желаемым). Если  $d_{ij} > 0$  ( $y_{ij} > x_{ij}$ ), то значение оценки  $k_{ij}$  возрастает с ростом  $d_{ij}$  до некоторого  $k_{ij}^{\max}$ , который достигается при  $d_{ij}^{\max}$ , соответствующем наилучшему результату по  $j$ -му показателю, превышение которого особого значения не имеет, поэтому оценка далее не растет. Установление  $d_{ij}^{\max}$  и определение угла наклона  $\alpha_j^1$  производится с использованием экспертных оценок и результатов статистического анализа.

Параметры и вид  $\varphi_j(\cdot)$  могут меняться во времени, то есть могут различаться в разные периоды оценивания, отражая изменение "важности" показателя  $P_j$  в разные периоды. Кроме того, параметры и вид функции оценки могут меняться в зависимости от того, какие требования предъявляются ЛПР к

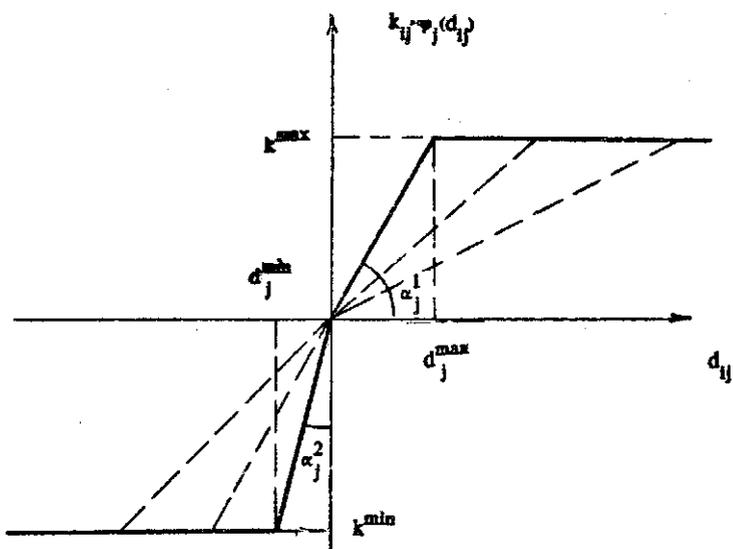


Рис. 8.

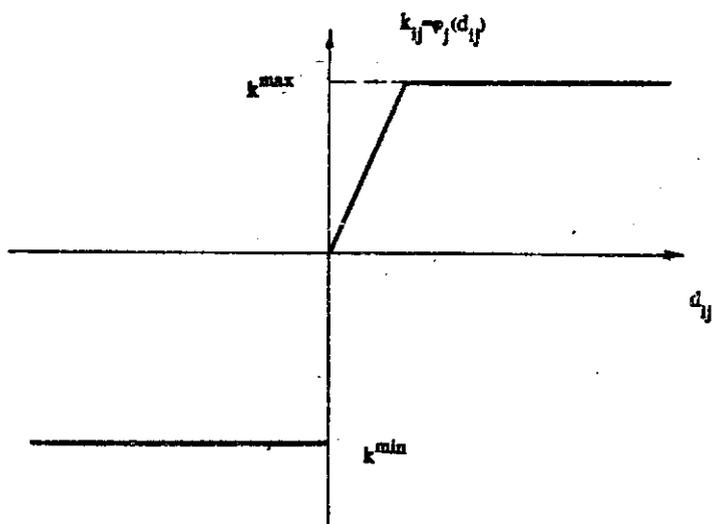


Рис. 9.

данному показателю и какова роль показателя при реализации целей данного проекта.

На рис. 9 приведен пример, когда всякое ухудшение показателя  $\Pi_j$  относительно норматива ( $d_{ij} < 0$ ) в значительной степени ведет к ухудшению оценки объекта в целом, поэтому значение частной оценки  $k_{ij}$  при  $d_{ij} = 0$  минимальное. В тоже время даже небольшое "превосходство" этого показателя по сравнению с нормативом (эталоном) дает значительное улучшение общей оценки объекта, что отражено в значении частной оценки при  $d_{ij} > 0$ .

Проблема выбора правил агрегирования (свертки) является одной из центральных при разработке процедуры комплексного оценивания. Выбор той или иной процедуры в каждой конкретной задаче осуществляется в соответствии с требованиями наиболее точного отражения управленческой стратегии ЛПР, удобства практической работы (простота вида свертки, наглядность, возможность корректировки), с учетом шкал, на которых задаются оценки.

Правила агрегирования (свертки) на каждом уровне "дерева оценок" выбираются таким образом, чтобы адекватно описать стратегию ЛПР (или эксперта), учесть различную важность отдельных критериев или оценок. Правило свертки может выражаться аналитической функцией, матрицей логической свертки, словесным правилом и т.п.

При "всеобщей" структуре критериев наиболее распространены мультипликативные, аддитивные, линейные свертки.

На практике обычно критерии образуют сложную иерархическую структуру, которая часто может быть заменена наиболее простой бинарной структурой.

Достоинством бинарной структуры является то, что она позволяет решать задачу комплексного оценивания по  $n$  критериям путем многошаговой процедуры агрегирования, причем на каждом шаге производится агрегирование оценок только по двум критериям. Это упрощает задачу выбора правил агрегирования, поскольку соответствует реальным возможностям человека в выдаче непротиворечивой устойчивой информация (гипотеза бинарности). Эта гипотеза утверждает, что

человек устойчиво сравнивает и разбивает на классы объекты, отличающиеся оценками по двум критериальным свойствам [13].

Таким образом, при бинарной критериальной структуре возможно наиболее точное отражение стратегии ЛПР или эксперта через процедуру свертки, к достаточно широкий класс комплексных критериев представим в виде бинарной структуры.

При попарном обобщении оценок, построенных на дискретных шкалах, то есть имеющих конечное число градаций, удобными для практического использования являются таблично заданные функции свертки - матрицы свертки. В этом случае правило агрегирования оценок по двум частным критериям в обобщенную оценку задается в виде матрицы  $S = \|s_{ij}\|$ , каждый элемент  $s_{ij}$  которой представляет собой оценку по обобщающему критерию, если оценка по одному частному критерию равна  $k_i^1$ , а по второму -  $k_j^2$ ,  $i=1, \dots, p$ ;  $j=1, \dots, m$ . Матрицы свертки формируются с участием ЛПР (экспертов).

При составлении матриц могут быть использованы различные принципы агрегирования, причем часто они не являются каким-то формальным правилом, а выбираются с учетом опыта, интуиция ЛПР (или эксперта). Пусть  $S$  - матрица свертки локальных оценок  $k_i^1$  и  $k_j^2$  (например,  $k_i^1$  - оценка социальных последствий реализации проекта,  $k_j^2$  - оценка экологических последствий). Каждая из этих оценок может принимать значение из множества  $\{1,2,3,4\}$  - {"отлично", "хорошо", "удовлетворительно", "неудовлетворительно"}. Обобщение этих оценок может производиться по разным принципам. Например, в качестве обобщенной оценки выбирается наихудшая из двух локальных оценок. Матрица  $S^1$ , соответствующая такому принципу, представлена на рис.10. Возможен и другой принцип агрегирования, например, одна из частных оценок ( $k_i^1$ ) выбирается в качестве базовой, а другая корректирует ее (рис.11).

Настройка процедуры комплексного оценивания, включающая перечисленные задачи, предполагает широкое использование экспертной информации. При проведении конкурса проектов или оценке результатов выполнения работ функцию разработки и

$C^I =$

|                          |     |     |     |    |
|--------------------------|-----|-----|-----|----|
| $k_i^1 \backslash k_j^2$ | I   | II  | III | IV |
| I                        | I   | II  | III | IV |
| II                       | II  | II  | III | IV |
| III                      | III | III | III | IV |
| IV                       | IV  | IV  | IV  | IV |

Рис. I0.

$C^R =$

|                          |     |     |     |     |
|--------------------------|-----|-----|-----|-----|
| $k_i^1 \backslash k_j^2$ | I   | II  | III | IV  |
| I                        | I   | I   | II  | III |
| II                       | II  | II  | III | IV  |
| III                      | III | III | IV  | IV  |
| IV                       | IV  | IV  | IV  | IV  |

Рис. II.

настройки правил оценки могут осуществлять созданные экспертные комиссии.

Настройка и реализация процедуры требует обработки большого объема информации, корректировки параметров, состава показателей, функций оценки, сверток, поэтому должны проводиться в автоматизированном режиме.

Представленная процедура комплексного оценивания, наряду с реализацией ряда общих требований (гибкость, учет разнородности показателей и т.д.), предоставляет возможность анализа результатов оценки до любого уровня в "дереве оценок", даже до отдельных исходных показателей. Это позволяет выявить "узкие места", обосновать принятое итоговое решение.

Формирование оценок на основе изложенного подхода позволяет повысить оперативность получения оценок и упростить работу экспертных комиссий, особенно при многократном оценивании однотипных объектов.

Рассмотренная процедура в полном объеме применима для сравнительной оценки сопоставимых (однотипных) объектов, т.е. объектов, для которых может быть построено одно и то же дерево критериев и соответствующее дерево оценок, а также множество исходных показателей, используемых для формирования оценки.

В практике управления научно-техническими программами такие ситуации возникают, например, при подведении итогов конкурсов, в тех случаях, когда объявляется конкретное задание на проект и осуществляется выбор его исполнителей. Для тех случаев, когда объявляется общая направленность программы и участники конкурса (претенденты в исполнители) предлагают разнородные проекты, не всегда удается построить единую систему критериев и исходных показателей для их оценки. Тогда рассмотренная процедура применима, если множество проектов можно разбить на группы однотипных по тематике проектов и осуществлять сравнительную оценку в каждой группе независимо, а также если для целей конкурса достаточна более "грубая" оценка, сформированная на основе

обобщенных критериев, без их детализации до уровня измеримых исходных показателей.

В противном случае используются традиционные процедуры экспертного оценивания [8].

Приведенные выше принципы и схема формирования комплексной оценки сложных объектов характеризуют довольно обширное множество различных вариантов процедуры оценивания. Отсюда естественным выглядит вопрос о выборе из этого множества в каком-то смысле лучших вариантов процедуры оценивания. Таким образом, можно ставить разнообразные задачи синтеза процедур оценивания, определяя критерии выбора процедур и ограничения, которым они должны удовлетворять. К такого рода задачам можно отнести рассмотренные в [9,14] задачи приближения матричных сверток аналитическими свертками (например, аддитивными, мультипликативными). В этом случае ограничения задаются выбранной структурой матричной свертки, а критерием выбора является минимальная ошибка приближения.

Приведем пример еще одной задачи синтеза.

Пусть задана многоуровневая свертка  $G$ , т.е.

1) определена структура свертки - дерево преобразования исходного множества из  $n$  показателей в итоговый показатель;

2) определены параметры матриц свертки (число строк и столбцов) в каждой вершине дерева;

3) определены элементы матриц свертки.

Таким образом, определенная многоуровневая матричная свертка каждому допустимому значению упорядоченного набора исходных показателей  $x = (x_1, \dots, x_n)$  ставит в соответствие значение комплексного показателя  $g = g_G(x)$ . Здесь  $x \in X$ ,  $X = X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n$ ,  $X_i$  - множество допустимых значений показателя  $x_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ .

Обозначим  $G(n) = (S, P, M)$  - многоуровневую матричную свертку, где  $S$  - ее структура,  $P_i$  - параметры матричных сверток,  $M$  - значения элементов матрицы,  $n$  - число исходных показателей.

Матричная свертка  $G$  задает отображение  $A_G$  множества  $X$ .

на множество  $Q$  значений комплексной оценки.

Задачи синтеза могут иметь следующие постановки. Определить матричную свертку  $G$ , реализующую заданное отображение  $A: X \rightarrow Q$  при заданных ограничениях на структуру  $S$ , на параметры  $P$  и значения элементов матриц  $M$ .

Для заданных нескольких отображений  $A_1, \dots, A_k$  может ставиться задача построения матричной свертки  $G$ , определяющей отображение  $A_G$  такое, что некоторая функция  $f(A_G, A_1, \dots, A_k)$  отклонения  $A_G$  от совокупности  $(A_1, \dots, A_k)$  - минимальна. Частным случаем этой задачи является задача приближения матричной свертки обобщенной аддитивной сверткой [9].

В практике применения систем комплексного оценивания структура дерева свертки обычно выбирается экспертным путем или на основе эвристических соображений. При этом возникает вопрос, как изменится результат оценивания, если изменить порядок группировки исходных и промежуточных показателей, т.е. если изменить структуру свертки.

Пусть задана многоуровневая матричная свертка, имеющая структуру  $S_1$ . Требуется ответить на вопрос, можно ли реализовать эту матричную свертку матричной сверткой, имеющей другую структуру  $S_2$ . Реализация одной многоуровневой матричной свертки  $(G_1)$  другой  $(G_2)$  здесь определяется как подбор элементов матриц в матричной свертке  $G_2$  таким образом, чтобы  $A_{G_1} = A_{G_2}$ .

Рассмотрим типовой блок процедур комплексного оценивания (рис.12а). Опишем алгоритм представления этого блока в другом структурном виде (рис.12б). Необходимо определить элементы матриц  $P(x_1, x_3)$ ,  $P(x_2, x_4)$  и матрицу  $P(y_3, y_4)$  новой структуры.

Пусть число градаций шкалы показателей  $x_1$  равно  $m_1$ , показателей  $y_1$  -  $n_1$ , а оценки  $z$  -  $p$ . Определим матрицу  $Q$  с  $m_1 \times n_1 \times p$  строками и  $g \times m_2 \times m_4$  столбцами; строка  $(i, j)$  соответствует паре оценок  $(i, j)$  показателей  $x_1, x_3$ , а столбец  $(k, s)$  - паре оценок  $(k, s)$  показателей  $x_2, x_4$ . Элемент матрицы  $Q$  на пересечении строки  $(i, j)$  и столбца  $(k, s)$

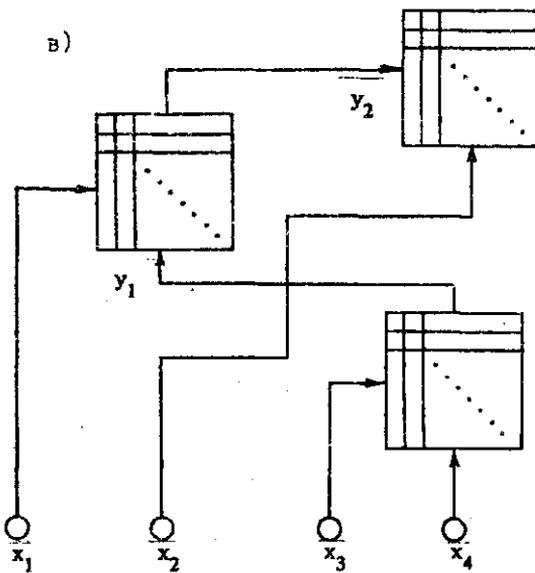
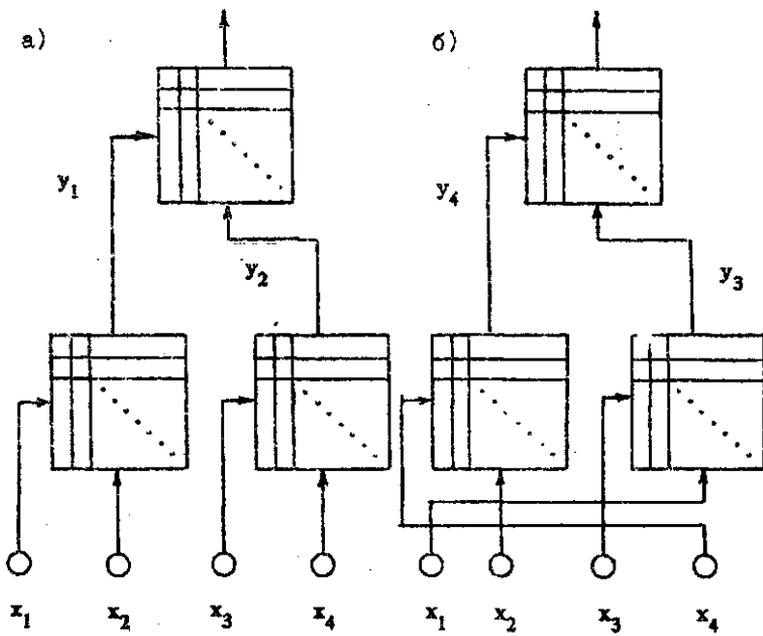


Рис. 12.

равен значению соответствующей оценки  $z$ . Задача заключается в назначении весов (целых положительных чисел) строк и столбцов матрицы  $Q$ , которые и определяют элементы соответствующих матриц  $R(x_1, x_3)$  и  $R(x_2, x_4)$ , а значит, и матрицу  $R(y_3, y_4)$ . При этом должно выполняться условие согласования шкал: два элемента с одинаковыми весами строк и одинаковыми весами столбцов обязательно должны быть равными.

*Теорема 3.* Минимальное число различных элементов матрицы  $R(x_1, x_3)$  (или  $R(x_2, x_4)$ ) равно числу различных строк (столбцов) матрицы  $Q$ .

*Доказательство.* Очевидно, что одинаковые строки (столбцы) должны иметь одинаковый вес (одинаковую оценку  $Z$ ). С другой стороны, разные строки (столбцы) не могут иметь равных весов, поскольку, беря столбец (строку) с разными элементами, мы получим противоречие с условием согласования шкал. Теорема доказана.

Опираясь на теорему, уже нетрудно построить требуемые матрицы  $R(x_1, x_3)$ ,  $R(x_2, x_4)$  и  $R(y_3, y_4)$ . Аналогично можно получить из структуры рис.12а структуру рис.12в.

Имея два типа преобразований элементарных блоков, можно получать различные структуры матричной свертки из исходной  $G(n)$ .

*Теорема 4.* Применяя описанные выше преобразования, из матричной свертки  $G(n)$  можно получить любую другую матричную свертку тех же исходных показателей.

*Доказательство.* Достаточно доказать, что путем описанных выше преобразований можно получать структуру, в которой на нижнем уровне производится свертка любой заданной пары показателей  $(x_1, x_1)$ . Пусть в  $G(n)$  цепь, соединяющая вершины  $x_1, x_1$ , имеет длину  $\geq 2$  (рис.13а). Применяя описанное выше преобразование (рис.13б), мы переходим к новой структуре, в которой длина цепи, соединяющей вершины  $x_1, x_1$ , меньше на 2. За конечное число таких преобразований получим структуру с длиной цепи между этими вершинами либо 2 (тогда задача решена), либо 3 (тогда применяем преобразование, показанное на рис.12в).

Таким образом, имея одну матричную свертку, мы можем, не обращаясь к экспертам (либо с небольшим числом обращений к экспертам), получить эквивалентную матричную свертку с любой структурой.

Пример. Пусть исходная матричная свертка имеет вид рис.14 со структурой рис.15а, а мы хотим получить свертку со структурой рис.15д. Как легко видеть, достаточно всего четыре преобразования (ребра, помеченные двоичными линиями, меняются местами вместе с висящими на них поддеревьями). Окончательный вид матричной свертки приведен на рис. 16. Интересно отметить, что эта структура требует в одной из матриц уже четырех градаций шкалы, в отличие от исходной, где было достаточно всего двух. Здесь возникают интересные задачи поиска структуры, требующей минимального числа градаций шкалы, определения минимального числа преобразований одной структуры в другую и др.

#### 4.Противозатратные механизмы формирования договорных цен

Как уже отмечалось выше, после определения объемов финансирования по направлениям и проектам, головные организации по проектам заключают договоры с творческими коллективами-исполнителями отдельных заданий по проектам. Принципиально важным при этом является создание условий, побуждающих творческие коллективы объективно оценивать объем финансирования, необходимого для выполнения задания в заданные сроки в с требуемым научно-техническим уровнем.

Одним из таких условий является конкурсность при формировании состава исполнителей проекта. Конкурсные механизмы формирования состава исполнителей будут рассмотрены ниже (в разделе 5). Однако, довольно часто на практике возникает ситуация, когда реального конкурса не получается. Причиной этого может быть монопольное положение того или иного творческого коллектива, занимающего приоритетное положение в данной области и способного выполнить задание проекта качественно лучше, чем другие. Монопольное положение может быть создано и искусственно, за счет недостаточной информи-

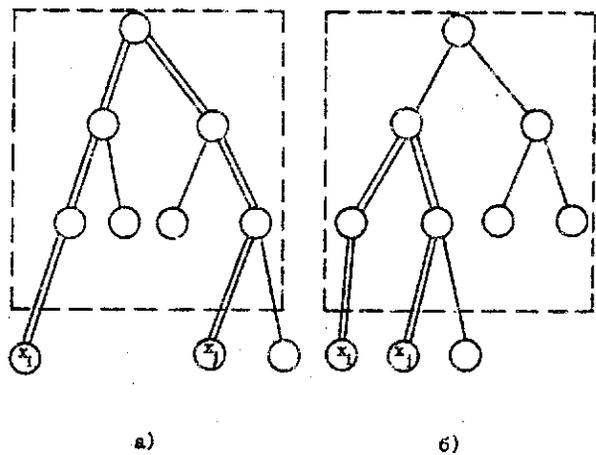


Рис. 13.

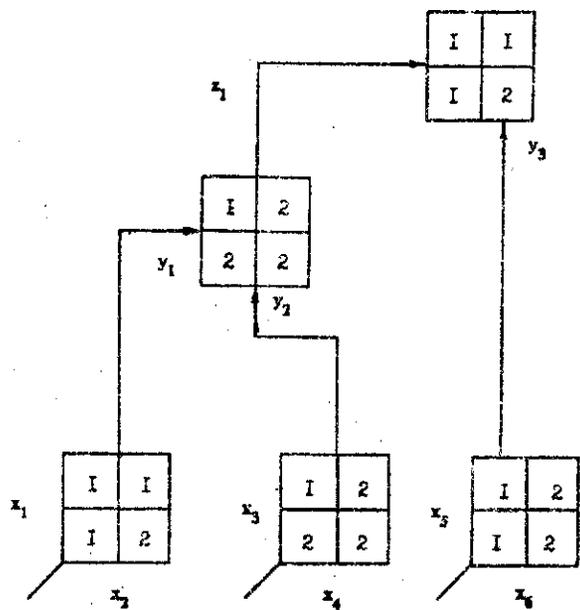


Рис. 14.

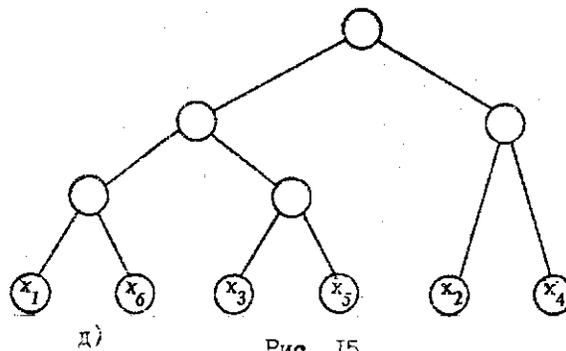
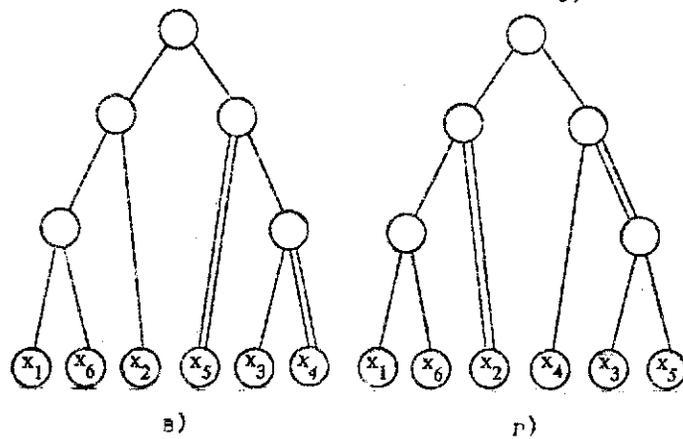
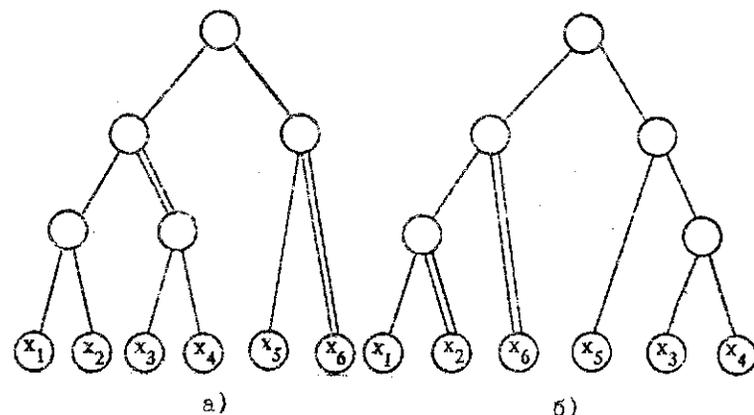


Рис. 15.

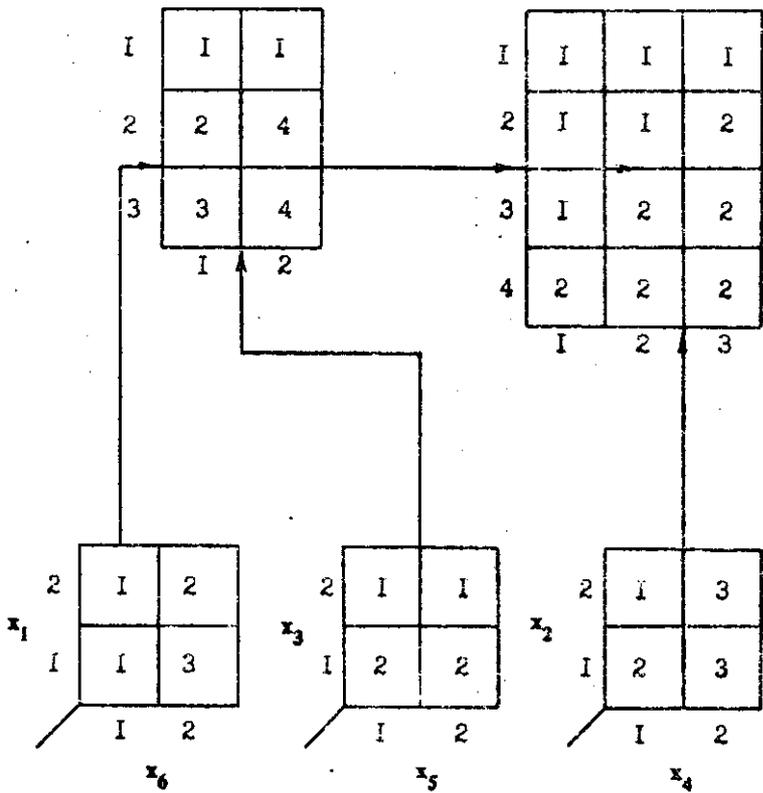


Рис. 16.

рованности о программе других творческих коллективов и научных школ.

Монопольное положение, естественно, позволяет творческому коллективу диктовать свои условия, как правило, добиваясь объема финансирования выше необходимого (зачастую, существенно выше). Можно ли бороться с монополистами, можно ли предложить механизм формирования договорных цен, стимулирующий и монопольного исполнителя снизить затраты на выполнение задания и соответственно уменьшить договорную цену? Оказывается, можно.

Механизмы, обладающие такими антимонопольными свойствами, получили название противозатратных. В их основе лежит идея гибкого норматива рентабельности.

Обозначим договорную цену через  $C$ , материальные затраты через  $S$ , а затраты живого труда (оплата труда) - через  $A$ . Тогда доход равен  $D=C-S$ , а прибыль  $\Pi=D-A=C-S-A$ . Обозначим далее:  $\mu_n$  - ставку налога на добавленную стоимость,  $\mu_\Pi$  - ставку налога на прибыль и  $\mu_0$  - ставку налога на оплату труда. Чистый (или остаточный) доход исполнителей (после вычета всех налогов) составляет  $D_0=(1-\mu_n)D-\mu_\Pi\Pi-\mu_0A$ .

Представим договорную цену в виде  $C=(1+r)A+S$ , где  $r=(C-S)/A-1$  называется рентабельностью, исчисленной к трудозатратам. Заметим теперь, что при существующей налоговой системе и свободном ценообразовании чистый доход исполнителей тем выше, чем больше цена и меньше затраты, что в монопольном случае приводит в основном к росту договорных цен.

Попытку ограничить рост цен, установив предельный уровень рентабельности для организаций-монополистов (или для монопольных творческих коллективов), нельзя признать удачной. Действительно, в этом случае исполнители будут заинтересованы в увеличении и договорной цены, и затрат, поддерживая рентабельность на предельном уровне. Если существующая налоговая система действует по принципу "дешево-дорого" (дешево делать - дорого продавать), то налоговая система для монополистов (с предельным уровнем рентабельности) действует по принципу "дорого-дорого" (дорого делать - дорого продавать). И то, и другое плохо.

Необходима система, работающая по принципу "дешево-дешево" (дешево делать и дешево продавать).

Для того, чтобы получить такую систему, введем понятие максимальной цены  $L$  (или цены заказчика). Это максимальная цена, которую заказчик (в данном случае, головная организация по проекту) согласен назначить. На основе предельной цены можно определить показатель максимальной рентабельности  $\Xi = L - S/A$ , которую будем называть эффективностью. Определим теперь зависимость уровня рентабельности  $\rho(\Xi)$  от эффективности  $\Xi$  таким образом, чтобы чистый доход был убывающей функцией затрат. Имеем:  $D_0 = (1 - \mu_N)(1 + \rho(\Xi))A - \mu_P \rho(\Xi)A - \mu_0 A = (1 - \mu_N - \mu_0)A + (1 - \mu_N - \mu_P)\rho(\Xi)A$ .

Дифференцируя  $D_0$  по  $S$  и по  $A$ , получаем условия противозатратности:

$$\frac{d\rho}{d\Xi} > 0, \quad \Xi \frac{d\rho}{d\Xi} - \rho(\Xi) > \frac{1 - \mu_N - \mu_0}{1 - \mu_N - \mu_P}.$$

При выполнении этих условий при уменьшении затрат чистый доход исполнителей будет расти. Однако, при этом должна уменьшаться договорная цена. Это требование приводит еще к двум условиям противозатратности на зависимость  $\rho(\Xi)$ :

$$\frac{d\rho}{d\Xi} < 1, \quad \Xi \frac{d\rho}{d\Xi} - \rho(\Xi) < 1.$$

Полученные четыре условия определяют класс противозатратных механизмов ценообразования. Заметим, что из этих условий следует  $\mu_0 > \mu_P$ , то есть ставка налога на оплату труда должна быть больше, чем ставка налога на прибыль.

Пример. Возьмем  $\rho(\Xi) = K(\Xi - 1)$ . Условия противозатратности имеют вид:

$$\frac{1 - \mu_N - \mu_0}{1 - \mu_N - \mu_P} < K < 1.$$

Соответствующая процедура регулируемого ценообразования имеет вид:  $C = (1 - K + K \times \varepsilon)A + S = (1 - K)C + K \times L$ , где  $C = A + S$  - себестоимость работ. Так, если  $\mu_H = 0,2$ ,  $\mu_0 = 0,38$ ,  $\mu_{\Pi} = 0,33$ , то  $0,9 \leq K < 1$ .

Как видим, выбор небольшой. Более того, цена близка к максимальной. Это говорит о том, что система налоговых ставок выбрана не совсем удачно с позиций стимулирования снижения цен. Так, если уменьшить ставку налога на прибыль на 0,13, увеличив на 0,06 налог на добавленную стоимость, то условия притивозатратности принимают вид:  $0,66 \leq K < 1$ , что позволяет, установив  $K = 0,6$ , значительно снизить цены.

Следует отметить, что при определении цены исполнители представляют информацию о планируемых затратах. При этом может возникнуть тенденция завышения планируемых затрат (для получения выходной цены), с тем, чтобы обеспечить чистый доход больше планируемого. Для борьбы с такой тенденцией необходимо предусмотреть более высокие налоговые ставки на сверхплановый доход и прибыль.

## 5. Конкурсные механизмы при формировании тематики исследований

Применение конкурсных механизмов важная особенность формирования и реализации научно-технических программ. Однако, несмотря на широкое применение конкурсных механизмов, методологические и методические вопросы их построения недостаточно разработаны. Выше были рассмотрены принципы формирования оценок проектов, которые могут быть использованы при проведении конкурсов. Здесь мы рассмотрим противозатратные свойства конкурсных механизмов. Существует ошибочная точка зрения, что конкурсные механизмы формирования договорной цены являются альтернативой описанному выше противозатратным механизмам. На самом деле, при организации конкурса нет никакой уверенности, что придется столкнуться с монопольной ситуацией, в которой конкурсные механизмы не эффективны. Поэтому конкурсные и

противозатратные механизмы должны дополнять друг друга.

Рассмотрим сочетание противозатратных и конкурсных механизмов на простых моделях.

Пусть имеются  $m$  научных коллективов, которые предлагают заказчику заключить договор на разработку проекта с оценкой эффективности  $L$ . В качестве  $L$  можно принять некоторую начальную цену проекта, либо оценку эффективности в условных единицах, выработанную экспертным советом. Себестоимость разработки для  $i$ -го научного коллектива обозначим через  $C_i$ . В качестве экономического интереса разработчика будем рассматривать прибыль.

Положим, что установлена противозатратная процедура формирования цены  $i$ -ой разработки:  $V_i = (1 + \rho(\Theta_i)) C_i$ ,  $\Theta_i = L/C_i$ .

Обозначим через  $x_i$  гарантированный норматив рентабельности для  $i$ -го научного коллектива. Это означает, что  $i$ -ый разработчик может себя обеспечить финансированием, дающим прибыль не менее  $x_i$  на рубль затрат.

В таком случае научному коллективу выгодно браться за разработку проекта, если ее цена будет не менее чем  $A_i = (1 + x_i) C_i$ . Пусть  $\rho_i = \rho_i(\Theta_i) > x_i$  для всех  $i$ . Если бы научный коллектив  $i$  был единственным (т.е. был монополистом), то проект был бы принят к исполнению по цене  $V_i$ .

Если же несколько научных коллективов претендуют на выполнение и финансирование проекта, то возникает конкурсная борьба. Заказчик заключает договор с организацией, которая предложит минимальную цену (здесь предполагается, что технико-экономические характеристики разработки для всех разработчиков одни и те же).

Пусть разработчики упорядочены по возрастанию  $A_i$ , т.е.  $A_1 \leq A_2 \leq \dots \leq A_m$ . Нетрудно убедиться, что победителем конкурса будет научный коллектив с номером 1, а договорная цена будет определяться выражением:

$$C^* = \min (V_1, A_2).$$

Действительно, если  $V_1 < A_2$ , то при цене  $C^* = V_1$  остальные научные коллективы не претендуют на выполнение проекта, так как по этой цене он им не выгоден. Если же  $V_1 \geq A_2$ , то

разработчик с номером 1 согласен выполнять проект по цене  $C_1 = A_2$ , поскольку  $A_1 < A_2$ , а другие разработчики ему не конкуренты, поскольку они требуют оплаты не меньше, чем  $A_2$ .

Таким образом, можно выделить две ситуации. При  $V_1 < A_2$  первый научный коллектив является монополистом по данному проекту, и цена разработки определяется на основе противозатратной процедуры.

При  $V_1 > A_2$  у первого научного коллектива имеется достаточно сильный конкурент (в данном случае коллектив с номером 2), и цена договора определяется по итогам конкурсной борьбы.

Этот пример иллюстрирует взаимодополнение конкурсного и противозатратного механизмов в случае, когда на исполнение одного проекта претендуют несколько научных коллективов, а задачей заказчика является выбор разработчика проекта и определение цены проекта.

Рассмотрим теперь другую ситуацию, когда формируется программа научно-технических работ на основе представляемых заказчику проектов (в качестве заказчика может выступать министерство или головная организация).

Пусть имеется фонд финансирования разработок  $R$  по некоторому направлению или проблеме. Научные коллективы или организации предлагают проекты исследований и разработок. Каждый проект оценивается с учетом всех ожидаемых технико-экономических параметров и технического уровня. Для оценивания проектов могут создаваться специальные экспертные советы и использоваться различные методики оценивания, например, представленная выше, в разделе 3.

В результате использования процедур оценивания определяется комплексная оценка социально-экономического эффекта  $L_1$ .

Если бы финансирование было неограниченным, то договоры по всем предлагаемым проектам были бы заключены по цене

$$V_i = (1 + \rho_1) C_i,$$

где, по-прежнему,  $C_i$  - себестоимость разработки;  $\rho_1 = \rho(\Theta_1)$  - норматив рентабельности, определяемый по противозатратной шкале "рентабельность-эффективность". Однако в силу ограниченности средств заказчик организует конкурс, отбирая

проекты по критерию эффективности  $Z_i^* = L_i/C_i$  использования средств на оплату разработок. Это вынуждает исполнителей проектов снижать цену своих разработок.

Для теоретико-игрового анализа этой ситуации обозначим, по-прежнему,  $A_i = (1+x_i)c_i$  минимальную цену разработки  $i$ , при которой организации еще выгоден данный госзаказ.

Упорядочим все разработки по убыванию величин  $v_i = L_i/A_i$ , т.е.  $v_1 \geq v_2 \geq \dots \geq v_m$ . Обозначим  $Q(x) = \{i: v_i \geq x\}$  и рассмотрим неравенство

$$\sum \min (B_i; L_i/x) \approx R.$$

Найдем максимальное  $x^*$ , при котором это неравенство еще выполняется. Оказывается, что победителями конкурса будут все проекты, для которых  $v_i > x^*$ , и возможно, ряд проектов, для которых  $v_i = x^*$ . При этом договорные цены для победителей конкурса  $U_i^* = \min (B_i; L_i/x^*)$ .

В рассматриваемом случае также проявляется дополняющий характер двух механизмов - конкурсного и противозатратного. Действительно, если  $B_i < L_i/x_i^*$ , то соответствующий разработчик является монополистом по данному направлению, и в действие вступает противозатратный механизм, а если  $B_i > L_i/x_i^*$ , то наличие конкурентов заставляет разработчиков снижать договорную цену.

Важно отметить, что конкурсные механизмы обладают определенными свойствами оптимальности. Так, если для всех организаций гарантированный уровень рентабельности  $x_i$  одинаков, то победителями конкурса оказываются проекты с наибольшими значениями эффективности  $L_i/C_i$ .

## 6. Механизмы стимулирования работ и определения санкций за отклонение фактических результатов от задания

Пусть в соответствии с установленной программой работ исполнитель договаривается с заказчиком о выполнении некоторого задания. Величина  $x$  характеризует проектное значение некоторого показателя эффективности результатов работ по заданию программы. Величина  $y$  определяет

фактическое значение показателя эффективности выполненных работ по заданию. Выход  $y$  получается как результат действий исполнителя  $u$  и случайных возмущающих воздействий  $\xi$ . Будем предполагать, что задана плотность вероятности  $p(u, y)$  того, что результат  $y$  получится при реализации исполнителем действия  $u$ .

Заказчик в соответствии с заключенным контрактом об оплате за выполнение работы устанавливает для исполнителя функцию штрафов  $\chi(x, y)$ , описывающую величину снижения оплаты результатов работ в зависимости от отклонения выхода  $y$  от проектного задания  $x$ ,  $\chi(x, x) = 0$ ,  $\chi(x, y) \geq 0$ . Если обозначить через  $h(y)$  величину дохода исполнителя от реализации  $y$ , то с учетом штрафов  $\chi(x, y)$  величина прибыли исполнителя будет равна  $h(y) - \chi(x, y)$ .

В силу того, что исполнитель может влиять на величину выхода  $y$  только за счет выбора своих действий  $u$ , целевую функцию исполнителя можно представить в виде:

$$f(x, u) = \int (h(y) - \chi(x, y)) p(u, y) dy \quad (10)$$

Будем предполагать, что при заданной функции  $\chi(x, y)$  исполнитель выбирает свои действия  $u^*$ , стремясь максимизировать свою функцию  $f(x, u)$ , т.е.

$$u^* \in P(x), \quad (11)$$

где  $P(x) = \underset{u \in U}{\text{Argmax}} f(x, u)$ ,

$U$  - множество допустимых действий исполнителя. Ниже для простоты будем предполагать, что  $\max_{u \in U} f(x, u)$  достигается в единственной точке  $u^* = u^*(x)$ .

Интерес заказчика заключается в наиболее эффективной реализации исполнителем проектного задания. Представим их с помощью целевой функции  $\Phi(x, y)$ . Предположим, что заказчик несет потери от невыполнения задания, т.е.

$$\Phi(x, y) = H(y) - v(x, y),$$

где  $H(y)$  - эффективность результата  $y$  с точки зрения

заказчика,  $\theta(x, y)$  - потери от невыполнения проектного задания  $x$ ,  $\theta(x, y) \geq 0$ ,  $\theta(x, x) = 0$ .

Будем считать, что заказчик стремится обеспечить максимальное значение своей целевой функции за счет выбора показателя  $x$  и выбора функции штрафов  $\chi(x, y)$ . Пару  $\mu = \{x, \chi(\cdot)\}$  будем называть механизмом контракта.

Поскольку значение выхода  $y$  определяется не только исполнителем, но и неконтролируемыми возмущениями  $\xi$ , то будем предполагать, что заказчик при выборе механизма контракта  $\mu = \{x, \chi(\cdot)\}$  использует некоторую процедуру устранения неопределенности относительно информации о возмущающих воздействиях  $\xi$ , например, рассматривая в качестве оценки целевой функции ее математическое ожидание

$$\bar{\Phi}(x, u) = \int \Phi(x, y) p(u, y) dy,$$

где  $p(u, y)$  - заданная плотность распределения, либо рассматривая в качестве оценки целевой функции ее гарантированное значение

$$\bar{\Phi}(x, u) = \min_{\xi \in \Omega} \Phi(x, y(\xi, u)),$$

где  $y = y(\xi, u)$  - заданная зависимость выхода от возмущения  $\xi$  и выбираемых исполнителем действий  $u$ ,  $\Omega$  - множество допустимых возмущений.

Полученные оценки целевой функции зависят от ненаблюдаемых заказчиком действий исполнителя  $u$ . Однако путем выбора механизма  $\mu = \{x, \chi(\cdot)\}$  заказчик может стимулировать выбор исполнителем действий  $u^*$ , совпадающих с заданием  $x$ , т.е.  $u^* = x$ .

Тем самым заказчик, варьируя  $x$ , может управлять действиями исполнителя.

Рассмотрим условия, которым должен удовлетворять механизм  $\mu$ , чтобы  $u^* = x$  и такой выбор действий  $u^*$  обеспечивал максимальное значение заданной оценки эффективности целевой функции центра.

В работах [4, 15] по теории активных систем были опре-

делены такие условия для случая детерминированных активных систем. Проведем обобщение этих условий на рассматриваемый здесь случай наличия случайных возмущений.

Рассмотрим механизм контракта  $\mu^*$ , при котором задание  $x^*$  определяется из решения задачи

$$\Phi(x^*, x^*) = \max_{x \in S} \Phi^-(x, u^*(x)), \quad (12)$$

где  $S = \{x: f(x, x) \geq f(x, u), u \in U, x \in X\}$  - множество заданий, которые при заданной функции стимулирования будут исполнителем выполнены в силу предположения (11).

Как было доказано в работах [4,15] достаточным условием того, что требование  $x \in S$  выполнения задания  $x$  не приводит к уменьшению значения оценки эффективности, т.е.

$$\forall x \in X: \Phi(x^*, x^*) \geq \Phi(x, u^*(x)),$$

является справедливость неравенства

$$f(v, v) + f(x, u) \geq f(x, v) + f(v, u)$$

для  $v, x, u, v$ .

Подставляя в это неравенство выражение для целевой функции исполнителя (10), получим условия для функций штрафов  $\chi(x, y)$ :

$$\int \chi(v, t) p(v, t) dt + \chi(x, t) p(u, t) dt \geq \int \chi(x, t) p(v, t) dt + \chi(v, t) p(u, t) dt,$$

или

$$\int [\chi(v, t) - \chi(x, t)] [p(v, t) - p(u, t)] dt \leq 0 \quad (13)$$

Приведем примеры функций штрафов, удовлетворяющих условию (13).

Пусть  $p(u, y)$  - плотность равномерного распределения случайной величины  $y$  на отрезке  $[u-\Delta/2, u+\Delta/2]$ , (рис.17).

Непосредственной проверкой показывается, что функция

$$\chi(x, y) = \begin{cases} C & \text{при } |x-y| \geq \Delta/2, \\ 0 & \text{при } |x-y| < \Delta/2, \end{cases}$$

где  $C > 0$ , удовлетворяет неравенству (13).

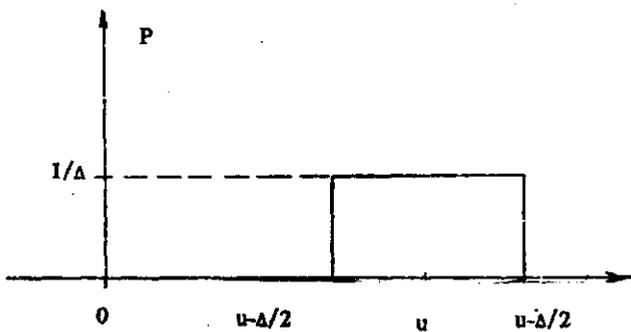


Рис. 17.

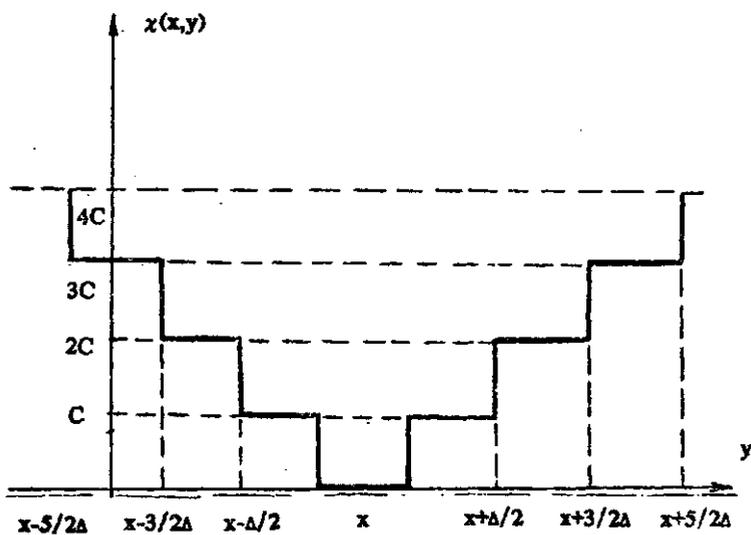


Рис. 18.

Можно также показать, что этому неравенству удовлетворяет также функция, изображенная на рис.18.

Выше были определены условия оптимальности процедуры вычисления задания (12), обеспечивающей выполнение исполнителем этого задания.

Рассмотрим теперь задачу синтеза оптимальных функций штрафов. Эта задача ставится следующим образом: пусть задано некоторое множество допустимых функций штрафов  $G$ , требуется определить на этом множестве такую функцию штрафов, которая обеспечивала бы реализацию максимального значения оценки целевой функции заказчика  $\Phi(x^*, u^*(x^*))$ .

Одним из естественных ограничений на штрафы является ограничение на максимальную величину штрафа

$$0 \leq \chi(x, y) \leq C(y), \quad (14)$$

где  $C(y) > 0$  - заданная функция от результата  $y$ . Следующая теорема дает решение задачи синтеза оптимальной функции штрафов на множестве функций штрафов  $G$ , определяемом условием (14).

*Теорема 5.* Пусть случайная величина  $y$  имеет равномерное распределение  $p(y, u)$  на отрезке  $[u-\Delta/2, u+\Delta/2]$ . Тогда функция штрафов

$$\chi^*(x, y) = \begin{cases} C(y) & \text{при } |x-y| \geq \Delta/2, \\ 0 & \text{при } |x-y| < \Delta/2 \end{cases}$$

оптимальна в классе  $G : 0 \leq \chi(x, y) \leq C(y)$ .

Доказательство.

Обозначим  $v(x, y) = \int \chi(x, y) p(y, t) dt$ ,

$$v^*(x, y) = \int \chi^*(x, t) p(y, t) dt.$$

Отметим, что  $v(x, y) \geq 0$ ,  $v^*(x, y) \geq 0$ ,  $v^*(x, x) = 0$ .

В [4] доказывается, что достаточным условием оптимальности функции  $v^*(x, y)$  в классе функций  $v(x, u)$ , удовлетворяющих условию

$$v(x, y) - v(x, u) \leq v^*(u, y), \quad (15)$$

является выполнение неравенства

$$v^*(x,y) + v^*(y,u) \geq v^*(x,u) \quad (16)$$

Воспользуемся этим фактом для доказательства теоремы.

Сначала покажем, что условие (16) справедливо, т.е. справедливо

$$\int \chi^*(x,y)p(y,t)dt + \int \chi^*(y,u)p(u,t)dt \geq \int \chi^*(x,u)p(u,t)dt.$$

Вследствие равномерности распределения случайной величины  $t$  это неравенство можно записать в виде

$$\int_{y-\Delta/2}^{y+\Delta/2} \chi^*(x,t)dt + \int_{u-\Delta/2}^{u+\Delta/2} \chi^*(y,t)dt \geq \int_{u-\Delta/2}^{u+\Delta/2} \chi^*(x,t)dt.$$

Обозначим

$$B^* = \int_{u-\Delta/2}^{u+\Delta/2} \chi^*(x,y)dt \geq \int_{u-\Delta/2}^{u+\Delta/2} \chi^*(x,t)dt - \int_{y-\Delta/2}^{y+\Delta/2} \chi^*(x,t)dt = A^*.$$

Если  $|u - y| \geq 0$ , то  $B^* \geq A^*$  - очевидно.

Рассмотрим теперь случай  $|u - y| > 0$ .

Пусть  $y < u$ , тогда

$$A^* = \int_{y+\Delta/2}^{u+\Delta/2} \chi^*(x,t)dt - \int_{y-\Delta/2}^{u-\Delta/2} \chi^*(x,t)dt,$$

$$B^* = \int_{y+\Delta/2}^{u+\Delta/2} C(t) dt.$$

Следовательно,  $B^* \geq A^*$ .

Пусть  $y > u$ , тогда

$$A^* = \int_{u-\Delta/2}^{y-\Delta/2} \chi^*(x,t) dt - \int_{u+\Delta/2}^{y+\Delta/2} \chi^*(x,t) dt, \quad B^* = \int_{u-\Delta/2}^{y-\Delta/2} C(t) dt.$$

Отсюда получаем  $B^* \geq A^*$ . Следовательно при выполнении условий теоремы доказана справедливость неравенства (16).

Докажем теперь справедливость неравенства (15).

Перепишем левую часть неравенства (15) в виде:

$$A = \int_{u-\Delta/2}^{u+\Delta/2} v(x,y) - v(x,u) = \int_{u-\Delta/2}^{u+\Delta/2} \chi(x,t) dt - \int_{y-\Delta/2}^{y+\Delta/2} \chi(x,t) dt .$$

При  $|u-y| \geq 0$  очевидно выполняется  $A \leq B^*$ .

При  $u > y$  и  $|y-u| < 0$

$$A = \int_{u-\Delta/2}^{u+\Delta/2} \chi(x,t) dt - \int_{y-\Delta/2}^{y+\Delta/2} \chi(x,t) dt .$$

Сравнивая эти значения  $A$  с  $B^*$ , получаем  $A \leq B^*$ .

Теорема доказана.

### Заключение

В приложении изложены методологические и методические основы построения ряда основных механизмов управления при формировании и реализации научно-технических программ. Конечно, описанные механизмы не решают все задачи, которые встречаются при управлении ГНТП, например, здесь не рассмотрены механизмы реализации проектов с участием внешних, в том числе, коммерческих источников финансирования разработок. Однако описанные результаты могут послужить основой для исследования задач синтеза механизмов регулирования не рассмотренных здесь проблем.

Дальнейшее развитие изложенных результатов возможно в направлении создания компьютерных систем поддержки принятия решений в задачах управления при формировании и реализации научно-технических программ на основе предложенных механизмов и принципов управления.

### Литература

1. Мойсеев Н.Н. Человек и ноосфера. - М.: Молодая гвардия, 1990.
2. Бурков В.Н., Еналеев А.К. Оптимальность принципа открытого управления//Автоматика и телемеханика.-1985.- №3.
3. Бурков В.Н. Основы математической теории активных систем. - М.: Наука, 1977.
4. Бурков В.Н., Кондратьев В.В. Механизмы функционирования организационных систем. - М.: Наука, 1981.

5. Бурков В.Н., Данев Б., Еналеев А.К. и др. Большие системы: моделирование организационных механизмов. М.: Наука, 1989.

6. V.N.Burkov, E.V.Umrikhina. Optimal mechanisms for collective expert decision making//IFAC/IFORS/IMACS Symposium "Lagrange scale systems -89. Theory and Application" (August 29-31,1989, Berlin,GDR): Preprint/Ed.K.Reinisch, M.Thoma. - Berlin, 1989. - Vol.2. - P.343-346.

7. Умрихина Е.В. Оптимальные процедуры экспертного прогнозирования в активной среде // Пути повышения качества прогнозов. Тезисы докладов Всесоюзного совещания - М.-Л., 1990.

8. Сидельников Ю.В. Теория и организация экспертного прогнозирования. - М.: Изд. ГПСИ ИМЭМО АН СССР, 1990.

9. Бурков В.Н., Кондратьев В.В., Черкашин А.М., Цыганов В.В. Теория активных систем и совершенствование хозяйственного механизма. - М.: Наука, 1984.

10. Методика автоматизированной количественной комплексной оценки результатов деятельности производственных коллективов. - М.: ЦНИИТЭИприборостроения, 1983.

11. Азгальдов Г.Г. Теория и практика оценки качества товаров. Основы квалиметрии. - М.: Экономика, 1982.

12. Рубинштейн М.И., Черкашин А.М. О проблеме формирования обобщенной оценки объектов, комплексно оцениваемых наборами показателей // Согласованное управление. Сб. трудов. - М.: Ин-т проблем управления, 1980.

13. Глотов С.А., Павельев В.В. Векторная стратификация. - М.: Наука, 1984.

14. Умрихина Е.В. Задача представления матричных сверток обобщенными аддитивными свертками при формировании комплексных оценок //Автоматика и телемеханика. - 1987. -N 11.

15. Бурков В.Н., Еналеев А.К., Кондратьев В.В. Двухуровневые активные системы. Цена децентрализации механизмов функционирования// Автоматика и телемеханика. - 1980. - N 6.

---

ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ МЕХАНИЗМЫ УПРАВЛЕНИЯ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИМИ ПРОГРАММАМИ. Предпринт.

В печать от 29.03.93 г. Формат бумаги 60x84/16. Уч.-издл. 28.

Тираж 200. Заказ 61. Цена договорная.

117806, Москва, ГСП-7. Профсоюзная, 65, Институт проблем управления