УДК. 65.012

Кузьмицкий А.А., Новиков Д.А. ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ МЕХАНИЗМЫ УПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЕМ ПРИОРИТЕТНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ НАУКИ И ТЕХНИКИ. -М., 1993 (Препринт/Институт проблем управления).

В настоящей работе рассматриваются некоторые организационные механизмы формирования приоритетных направлений науки и техники и управления процессом их реализации. В частности, рассмотрены механизмы согласия при принятии решений о финансировании направлений, механизмы выбора вариантов развития приоритетных направлений, конкурсные механизмы формирования состава исполнителей. Представлены методы анализа надежности научно-технических программ, приведен ряд моделей механизмов страхования в системах управления проектами и механизмов оперативного управления процессом реализации приоритетных направлений.

Рецензент: д.т.н. Кульба В.В.

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

Утверждено к печати Редакционным советом Института

Оглавление

1. Введение

Государственная научно-техническая политика является составной частью государственной социально-экономической политики России, в настоящее время направленной на коренное преобразование материального производства социальной и духовной сфер, достижения качественно нового состояния общества. Важнейшей целью государственной научно-технической политики является усиление вклада науки и техники в решение ключевых проблем улучшения уровня жизни, повышения экономической эффективности, достижения конкурентноспособности на мировом рынке, укрепления обороноспособности страны. Формирование и проведение государственной научно-технической политики обеспечивается через определение основных направлений научно-технического прогресса и выделение приоритетных направлений, создание организационных и правовых условий для эффективного развития научно-технического потенциала; создание современной инфраструктуры; бюджетное финансирование и приоритетное материально-техническое обеспечение научных и научно-технических программ и проектов, реализующих приоритетные направления НТП; определение системы льгот, поддержку международных связей, информационное обеспечение, единую патентную службу и т. д. Главной стержневой частью процессов формирования и реализации государственной научно-технической политики является механизм выделения и реализации приоритетных направлений НТП, концентрация научного потенциала, ограниченных финансовых и материальных ресурсов на реализующих их программах и проектах. Под приоритетными направлениями мы будем понимать такие научно-технические направления, которые в наибольшей степени реализуют государственную научно-техническую политику, обеспечивая решение основных народнохозяйственных целей (на современном этапе это стабилизация экономики и уровня жизни, поддержка новых эффективных производств).

Крупные научно-технические программы имеют, как правило, очень сложную иерархическую структуру (программа - проблема - проект и т. д.) и задействуют большое число организаций, институтов, творческих коллективов и исполнителей. Ниже будут рассмотрены механизмы формирования приоритетных направлений, включающие механизмы согласия в принятии решений о финансировании программ и проблем (в рамках определенных программ), механизмы выбора вариантов направлений программы и конкурсные механизмы финансирования наиболее перспективных проектов.

В качестве механизмов реализации приоритетных направлений приводятся и анализируются страховые механизмы и механизмы корректировки (контрактные механизмы оперативного управления реализацией научно-технических программ). Значительное внимание уделяется вопрсам анализа надежности НТП и методам ее повышения.

1. МЕХАНИЗМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОГРАММ РАЗВИТИЯ ПРИОРИТЕТНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ

Формирование программ развития приоритетных направлений включает решение следующих задач:

- определение объемов финансирования приоритетных направлений;
- выбор вариантов развития каждого приоритетного направления, обеспечивающего достижение поставленных целей с минимальными затратами и заданной надежностью;
- формирование программы, обеспечивающей реализацию выбранного варианта (определение состава проектов и состава исполнителей).

Все три задачи, естественно, взаимосвязаны. Информационной базой являются поступающие в министерство предложения (проекты) от организаций, предприятий и творческих коллективов с описанием задач, которые будут решены и затрат, необходимых для этого. На основе банка предложений можно оценить варианты развития приоритетных направлений и определить необходимые объемы финансирования. Процедура принятия решений носит итерационный характер. Сначала с учетом возможностей бюджета определяются приближенные (прикидочные) величины объемов финансирования приоритетных направлений. Опираясь на эти цифры в каждом направлении формируется программа развития, обеспечивающая реализацию поставленных целей с требуемой надежностью. Если выделенное финансирование недостаточно для достижения целей развития направлений, то производится либо корректировка объема финансирования, либо корректировка целей, либо, наконец, снижается уровень надежности (берется вариант, обеспечивающий достижение поставленных целей при выделенных ресурсах, однако риск неудачи достаточно высок). Для каждой задачи необходимо разработать механизм решения. Возможные типы таких механизмов рассматриваются ниже.

1.1. Механизмы согласия при принятии решений о финансировании направлений

Общепринятым на практике является следующий механизм принятия решений по финансированию направлений. По каждому направлению создается научный совет из ведущих специалистов в данной области. Совет формирует проект программы и оценивает требуемый объем финансирования. Эти данные представляются руководству министерства, задачей которого является принятие окончательного решения. Недостатки такого механизма очевидны. Научный совет по направлению, естественно, заинтересован в финансировании работ по своему направлению (поскольку члены научного совета, как правило, представляют организации, претендующие на участие в программе по этому направлению). В силу этого, представленные научными советами оценки затрат в сумме превышают объем финансирования, выделенный на развитие приоритетных направлений в целом. В этом случае вся тяжесть принятия решений ложится на руководство министерства. Во многих случаях решение принимается по принципу "пропорционального урезания", когда происходит сокращение финансирования всех направлений на одну и ту же долю (например, объем выделяемых средств уменьшается в два раза, по сравнению с запрашиваемым). В любом случае такой механизм приводит к тенденции завышения требуемых объемов финансирования (по принципу - "больше просишь - больше получишь").

Описываемый ниже механизм в определенной степени свободен от отмеченных выше недостатков. Основная идея состоит том, что создаются научные советы по парам направлений. При этом одно направление является базовым (общим для всех научных советов). Таким базовым может быть, например, направление фундаментальных исследований, поскольку в нем, безусловно, заинтересованы все крупные ученые, входящие в состав научных советов. Каждый научный совет вырабатывает решение об относительных размерах финансирования соответствующих направлений. А именно, во сколько раз финансирование по направлению i должно быть больше (меньше), чем по базовому направлению. Будем считать, что всего направлений (n + 1), причем (n + 1)-е направление является базовым. Число научных советов равно n. Обозначим S_i - оценку i-го научного совета об относительном финансировании i-го наравления (по сравнению с (n + 1)-м). На основе оценки S_i определяется вариант финансирования направлений:

$$x_i = \pi_i(s) = \frac{s_i}{1+\sigma} R, \quad i=\overline{1,n}, \qquad (1.1)$$

где $\sigma = \sum_{i=1}^{n} s_i$, а R - распределяемое количество ресурса.

Этот вариант и представляется на рассмотрение руководства министерства.

Проведем анализ описанного механизма. Отметим, во-первых, что $\pi_i(s)$ - неубывающая функция s_i и невозрастающая функция s_j, $\forall j \neq i$, для всех $i,j=\overline{1,n}$, а $\pi_{n+1}(s)$ - невозрастающая функция всех s_i. Примем, что каждый научный совет имеет объективное мнение об относительном финансировании всех направлений и стремится представить такую оценку s_i, чтобы итоговое финансирование было возможно более близким к этому объективному мнению. Обозначим $a_i = \{ a_{ik} \}$ – объективное представление i-го научного совета об относительном финансировании направлений. Другими словами, i-ый экспертный совет считает наиболее целесообразными объемы финансирования:

$$v_{ik} = \frac{a_{ik}}{1+A_i} R ,$$

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

где $A_i = \sum_{k=1}^{n} a_{ik}$.

Поскольку члены i-го совета в основном заинтересованы в финансировании "своих" направлений (то есть i-го и базового), то естественно принять, что $s_i \ge a_{ji}$ для всех $j \ne i$. Смысл этого условия заключается в том, что оценка i-го совета не меньше, чем объективное мнение любого другого совета об относительном финансировании i-го направления. Это понятно, поскольку другие советы не настолько заинтересованы в развитии i-го направления. Это предположение называется гипотезой достаточной заинтересованности.

Степень отклонения фактического распределения финансирования $\{x_i\}$ от наиболее целесообразного, с точки зрения i-го научного совета $\{v_i\}$ будем оценивать величиной:

$$\delta_i = \min_j \left(\frac{x_j}{v_j} \right) = \frac{1+A_i}{1+\sigma} \min_j \left(\frac{s_j}{a_{ij}} ; 1 \right) .$$

Поведение каждого научного совета определяется стремлением обеспечить как можно большую величину δ_i, что соответствует стремлению максимально приблизить x_i к v_i (при $x_i = v_i$, как можно видеть $\delta_i = 1$). Заметим, что в силу гипотезы достаточной заинтересованности $s_j \ge a_{ij}$ и выражение для δ_i упрощается. В этом случае:

$$\delta_i = \frac{1+A_i}{1+\sigma} \min\left(\frac{s_i}{a_i} ; 1 \right).$$

Имеет место следующая

Теорема 1 [1]. При гипотезе достаточной заинтересованности сообщение истинной оценки $s_i = a_i$ является доминантной стратегией каждого научного Совета.

Рассмотрим обобщение описанной модели. Пусть предпочтения i-го Научного совета зависят от величины $z_i = x_i + x_{n+1}$, т.е. от суммарного финансирования i-го и базового направления. Следовательно, $a_i(z_i) = \xi_i\left(\frac{1+s_i}{1+\sigma} R\right)$.

Будем считать, что зависимость $\xi(\cdot)$ может быть представлена в параметрическом виде $\xi_i = \xi_i(z_i, r_i)$, где r_i – параметр, оценка которого t_i сообщается управляющему органу, а функция $\xi(\cdot)$ монотонна по r_i. В данном случае стратегией i-го научного совета будет уже сообщение не оценки s_i сравнительного объема финансирования, а сообщение зависимости отношения объемов финансирования i -го и базового направления в зависимости от суммы, выделяемой этим направлениям.

Естественное требование, налагаемое на любой механизм распределения ресурсов – требование его реализуемости, т.е. параметры механизма должны выбираться так, чтобы имелось, по крайней мере, одно допустимое решение. В рассматриваемом случае условия реализуемости задаются следующей леммой.

Лемма 1. Если функции $\xi_i(\cdot)$ липшицевы, то механизм согласия реализуем.

Другими словами, условие реализуемости это условие того, что существует механизм согласия такой, что выполняется:

$$\xi_i\left(\frac{a_i+1}{1+A_i} \right) = a_i, \ \forall i=\overline{1,n}. \qquad (1.2)$$

Это условие – не что иное, как условие существования у отображения $\xi(\cdot)$ неподвижной точки. Справедливость леммы 1 следует из принципа сжимающих отображений.

Для рассматриваемого механизма с предпочтениями, зависящими от суммарного финансирования данного и базового направлений справедлива теорема об оптимальности принципа открытого управления, аналогичная теореме 1.

Теорема 2. Если функции $\xi_i(\cdot)$ удовлетворяют условиям:

$$[\ \ln \xi(z_i, x_i)\ ]'_{z_i} \uparrow t_i \qquad i=\overline{1,n}, \qquad (1.3)$$

и справедливы гипотеза достаточной заинтересованности и гипотеза слабого влияния [4] , то сообщение истинной оценки $t_i = r_i$ является доминантной стратегией каждого научного совета.

Доказательство. Для механизма (1.2) степень отклонения распределения финансирования $\{x_i\}$ от наиболее целесообразного с точки зрения i-го научного совета, будем определять как:

$$\delta_i(t_i, r_i) = R \min \Big(\frac{1}{1 + \sum_j \xi_j(z_j, t_j)},$$

$$\frac{\xi_i(z_i, t_i)}{[1 + \sum_j \xi_j(z_j, t_j)]\xi_i(z_i, r_i)} \Big) . \qquad (1.4)$$

Рассмотрим возможные случаи:

1. Если $t_i = r_i$, то:

$$\delta_i = \delta_i(t_i, t_i) = \frac{R}{1 + \sum_j \xi_j(z_j, t_j)} = \delta_i^* .$$

2. Если $t_i > r_i$, то в силу предположения о монотонности $\xi(\cdot)$ по параметру, отношение $\dfrac{\xi_i(z_i, t_i)}{\xi_i(z_i, r_i)} > 1$, поэтому δ_i растет при уменьшении t_i и, следовательно, в равновесии $t_i = r_i$.

3. Если $t_i < r_i$, то δ_i равно:

$$\delta_i = R \frac{\xi_i(z_i, t_i)}{[1 + \sum_j \xi_j(z_j, t_j)]\xi_i(z_i, r_i)} .$$

В силу гипотезы слабого влияния научный совет не учитывает влияния оценки t_i на $\sum_j \xi_j(z_j,t_j)$]. Найдем производную:

$$\left(\frac{\xi(z,t)}{\xi(z,r)}\right)' = \frac{\xi_t(z,t)\xi(z,r)+z'_t\ [\ \xi(z,t)\xi(z,r)-\xi(z,t)\xi_z(z,r))}{\xi(z,r)^2}$$

Так как [$\ln\ \xi(z_i,x_i)$] - возрастающая функция при любых t, то выражение в квадратных скобках неотрицательно, следовательно, $\frac{\xi(z,t)}{\xi(z,r)}$ - возрастающая функция t и в равновесии $t_i = r_i$. Теорема доказана.

Пример 1. Пусть $\xi_i(z_i,\ r_i) = r_i\ \xi(z_i)$. В этом случае: $\frac{\xi_i(z_i,t_i)}{\xi_i(z_i,r_i)} = \frac{t_i}{r_i}$. Имеем:

$$\left(\frac{t_i}{1+\sum_j \xi_j(z_j)t_j}\right)' = \frac{1+\sum_{j\neq i} t_j\ \xi(z_j)}{(\ 1+\sum_j \xi_j(z_j)t_j\ )^2} > 0.$$

В данном случае гипотеза слабого влияния не нужна.

1.2. Механизмы выбора вариантов развития приоритетных направлений

Степень реализации научно-технической политики оценивается по системе критериев, отражающих поставленные цели. Система критериев имеет иерархическую структуру. На верхнем уровне находятся обобщенные критерии, характеризующие конечные цели развития. К ним можно отнести следующие критерии:

1. Уровень жизни;
2. Уровень экономической эффективности;
3. Уровень безопасности (обороноспособность, экологическая безопасность, снижение риска технических и природных катастроф);
4. Научно-технический уровень (конкурентноспособность, вклад в крупные технологические сдвиги и др.).

Каждый критерий верхнего уровня объединяет ряд критериев следующего уровня. Так, критерий уровня жизни включает в себя такие характеристики как: благосостояние, здоровье, культуру, образование, быт, уровень занятости и др.). Заметим, что переход от одного уровня дерева критериев к другому (более высокому) требует агрегирования (свертки) нескольких показателей в один (обобщенный). Такое агрегирование удобно проводить на основе логических матриц [6]. Дело в том, что трудности количественного измерения критериев, неточность исходных данных и размытость самих понятий приводят к целесообразности использования качественных шкал типа "отлично", "хорошо", "удовлетворительно", "плохо". Так оценка "отлично" может соответствовать мировому уровню, оценка "хорошо" - уровню ниже мирового (лучший российский уровень), оценка "удовлетворительно" - средний российский уровень и оценка "плохо" - худший российский уровень. На рис. 1 приведен пример агрегирования четырех критериев верхнего уровня в комплексную оценку степени достижения основных целей социально-экономического развития (все рисунки приведены в приложении). Сначала проводится объединение критериев уровня жизни и уровня безопасности в обобщенную оценку социального уровня. Критерии научно-технического уровня и экономической эффективности также объединяются в обобщенную оценку экономического и научно-технического уровня (уровень экономического потенциала). Наконец, две обобщенные оценки агрегируются в комплексную оценку степени достижения основных целей развития. Для упрощения описания удобно различным качественным оценкам присвоить численные значения (отлично - 4, хорошо - 3, удовлетворительно - 2, плохо - 1). Логические матрицы свертки отражают государственные приоритеты при проведении научно-технической политики. Так из приведенного на рис. 1 примера видно, что в данном случае приоритет имеют критерии уровня жизни (по отношению к уровню безопасности) и экономической эффективности (по отношению к научно-техническому уровню). Что касается обобщенных критериев социального уровня и уровня экономического потенциала, то как следует из рисунка, наибольший приоритет имеет социальный уровень.

Формирование матриц логической свертки крайне ответственная процедура, которая проводится лицами, принимающими решения (ЛПР). На уровне Миннауки это министр и его заместители с участием начальников управлений. Развитие приоритетных направлений в основном осуществляется на основе формирования федеральных научно-технических программ (для каждого направления может быть сформирована одна или несколько программ). Реализация каждой программы может изменить значения всех критериев, а значит и значение комплексной оценки степени достижения поставленных целей.

Примем, что нижнему уровню дерева критериев соответствуют обобщенные оценки непосредственно по приоритетным направлениям. Эти оценки, фактически, являются оценками программ, сформированных для реализации целей развития приоритетных направлений. Предположим, что программы, сформированные для развития данного приоритетного направления окажут незначительное влияние на развитие других приоритетных направлений, которое можно не учитывать в силу размытости самих понятий и неточности данных.

Итак, будем считать, что для каждого приоритетного направления сформированы альтернативные программы развития, позволяющие обеспечить развитие данного направления за определенный период от сегодняшнего состояния (примем, что это состояние "плохо", что соответствует оценке 1), либо до состояния удовлетворительно (оценка 2), либо хорошо (оценка 3), либо отлично (оценка 4). Опеделены затраты на реализацию каждой программы. Обозначим S_{ij} - затраты, на реализацию программы, обеспечивающей развитие направления i до состояния j (j = 1,2,3,4). Задача заключается в определении набора программ, обеспечивающих с достаточной надежностью и минимальными затратами реализацию народнохозяйственных целей, что соответствует изменению комплексной оценки от сегодняшнего состояния "плохо" до требуемого состояния (примем для определенности, что это состояние "хорошо"). Уточним, что понимать под достаточной надежностью. Реализация каждой программы, естественно, не гарантирована, особенно в области науки и техники. Существует риск неудачи. Рассмотрим понятие критических направлений (программ) и резерва направлений, качественно характеризующих надежность и риск.

Определение. Приоритетное направление называется критическим, если недостижение его целей (что соответствует недостижению требуемого значения обобщенной оценки по направлению) приводит к недостижению народнохозяйственных целей (то есть к недостижению требуемого значения комплексной оценки).

Направления, которые не являются критическими, имеют резерв, величина которого равна разности требуемого значения обобщенной оценки и максимального значения обобщенной оценки, при котором значение комплексной оценки остается равным требуемому. Этот резерв будем называть полным.

Пример 2. Рассмотрим дерево критериев. рис. 1. Пусть выбран вариант развития приоритетных направлений $(x_1, x_2, x_3, x_4) = (3; 3; 3; 4)$, дающий требуемое значение $K = 3$ (хорошо, или немного ниже мирового уровня). Непосредственной проверкой можно убедиться, что направление 2 является критическим (невыполнение программ по безопасности ставит под угрозу достижение народнохозяйственных целей). Направления 1 (уровень жизни) и 3 (уровень экономической эффективности) имеют полный резерв, равный 1, а направление 4 (научно-технический уровень) имеет полный резерв 2.

Определение. Вариант развития, у которого все направления являются критическими называется максимально напряженным. Для рассмотренного выше примера максимально напряженными являются варианты $Z_1 = (2; 4; 2; 1)$, $Z_2 = (3; 2; 2; 1)$, Z_3з $(2; 1; 3; 2)$, $Z_4 = = (1; 1; 4; 3)$.

Аналогично можно определить резерв любой обобщенной оценки дерева критериев, а также и резерв комплексной оценки. Так, в варианте $Z = (3; 3; 3; 3)$ дерева критериев рис. 1, направление 3 является критическим относительно обобщенной оценки y (экономический потенциал), но имеет полный резерв $\Delta_3 = 1$. Нетрудно показать, что резерв относительно любой обобщенной оценки всегда меньше или равен полному резерву.

Постановка задачи. Определить вариант развития приоритетных направлений с резервами не меньше заданных, имеющий минимальную стоимость.

Определение. Вариант развития, удовлетворяющий условиям задачи, называется допустимым. Допустимый вариант называется напряженным, если не существует другого допустимого варианта, имеющего оценки по направлениям не выше, чем у данного. Очевидно, что вариант с минимальными затратами должен быть напряженным.

Для решения поставленной задачи опишем алгоритм построения всех напряженных вариантов. Рассмотрим его сначала на примере максимально напряженных вариантов (то есть напряженных вариантов с нулевым полным резервом). Заметим, что напряженный вариант по существу является Парето-оптимальным вариантом. Определение Парето-оптимальных вариантов при дискретных шкалах оценок задача известная и для двух критериев (обобщенных оценок), свертка которых определяется одной матрицей алгоритм также известен. Дадим его краткое описание.

Рассматриваем последний столбец матрицы и определяем минимальную строку с требуемой оценкой. Для этой строки определяем минимальный столбец с требуемой оценкой. Эта оценка будет определять напряженный вариант. Далее, начиная со столбца с меньшим номером (на единицу), повторяем процедуру и т. д. Будем для краткости обозначать этот базовый алгоритм символом Н. Для описания всех напряженных вариантов применяем алгоритм Н к матрице комплексной оценки (корневая вершина дерева критериев). Заметим, что каждому напряженному варианту матрицы комплексной оценки соответствуют две обобщенные оценки следующих уровней дерева критериев. Для каждой из них находим все напряженные варианты в соответствующих матрицах обобщенных оценок (применяя алгоритм Н). Продолжая таким образом, строим сеть напряженных вариантов. Эта сеть для дерева критериев рис. 1 приведена на рис. 2. В ней чередуются вершины двух типов. Вершины одного типа обозначены квадратами, в которых указаны значения обобщенных оценок, для которых нужно определить напряженные варианты в соответствующих матрицах (вход сети всегда квадрат, в котором указано значение комплексной оценки, а выходы-квадраты, в которых указаны значения оценок по направлениям). Вершины-квадраты соединены дугами с вершинами-кружками, в которых указаны все напряженные варианты для данной обобщенной оценки. Любому напряженному варианту соответствует прадерево (подграф сети) с корнем в начальной вершине. В каждую вершину-кружок этого прадерева заходит только одна дуга от вершины-квадрата более высокого уровня, а из каждой вершины-кружка исходят две дуги к вершинам-квадратам более низкого уровня (на рис. 2 один из вариантов выделен двойными дугами). Построив сеть напряженных вариантов нетрудно определить их число. Для этого присваиваем выходным вершинам сети (квадратам) индексы 1. Индексы вершин-кружков получаются произведением индексов смежных им вершин-квадратов нижнего уровня, а индексы вершин-квадратов получаются сложением индексов смежных им вершин-кружков нижнего уровня. Двигаясь таким образом снизу вверх определяем индекс входной вершины сети. Значение этого индекса определяет число напряженных вариантов. Для сети рис. 2 число напряженных вариантов равно 6 (индексы указаны в квадратных скобках у соответствующих вершин).

Аналогичным образом можно построить сеть напряженных вариантов с любой заданной величиной резерва. Будем далее считать, что в матрицах логических сверток два соседних элемента (в столбце или строке) отличаются не более чем на единицу. В этом случае при построении сети напряженных вариантов с резервом Δ необходимо, начиная с матрицы верхнего уровня, построить все напряженные варианты с резервом $\tau = 0, 1, 2, \ldots, \Delta$. Для варианта с резервом q далее строятся все напряженные варианты с резервом $\tau=0, 1, 2, \ldots, \Delta-q$ и т. д. Другими словами, если данная вершина дерева критериев имеет полный резерв $0 \le q \le \Delta$, то варианты, развиваемые из этой вершины, должны иметь резерв относительно этой вершины не более $(\Delta - q)$. Следующим этапом является определение допустимого варианта минимальной стоимости.

Пусть построена сеть напряженных вариантов. Для определения варианта минимальной стоимости присваиваем выходам сети индексы, равные затратам S_{ij} на реализацию соответствующей программы. Двигаясь снизу вверх определяем индексы остальных вершин. При этом, индекс вершин-кружков равен сумме индексов соответствующих вершин-квадратов более низкого уровня, а индекс вершин-квадратов равен минимальному из индексов смежных с ним вершин-кружков более низкого уровня. Индекс вершины-входа будет равен величине минимальных затрат. Обоснование алгоритма следует из очевидного факта, что индекс любой вершины-квадрата при описанном способе вычисления индексов равен минимальным затратам на получение требуемой величины соответствующей обобщенной оценки.

Вариант развития минимальной стоимости определяется алгоритмом "обратного хода". Начиная с вершины верхнего уровня (входа сети) определяем вершину-кружок с минимальным индексом. Для смежных с ней вершин-квадратов более низкого уровня также определяем вершины-кружки более низкого уровня с минимальными индексами и т. д. Если оптимальных вариантов несколько, то можно построить подсеть оптимальных вариантов (их число определяется также как и число всех напряженных вариантов).

Пример 3. Пусть матрица затрат для четырех приоритетных направлений дерева критериев рис. 1 имеет вид табл. 1.

б/и - 13108

Таблица 1

оценки напр.	1	2	3	4
1	4	12	21	45
2	9	12	27	51
3	2	3	22	46
4	11	17	25	35

(величины S_{11} определяют затраты на поддержание уровня критерия 1, то есть на стабилизацию ситуации). Оптимальный вариант с нулевым полным резервом выделен на сети рис. 4, а оптимальный вариант с единичным полным резервом выделен на сети рис. 5 двойными дугами. При увеличении надежности варианта стоимость возросла с 47 до 71. можно не требовать, чтобы все направления имели один и тот же полный резерв, поскольку риск различных направлений различен. Если заданы требуемые резервы для направлений, то для определения варианта развития минимальной стоимости действуем также как и при построении сети напряженных вариантов с тем отличием, что в каждой вершине-квадрате указывается резерв не более, чем максимальный из резервов у критериев (направлений), определяющих оценку в данной вершине.

Рассмотренная модель является, на наш взгляд, удобным и гибким инструментом управления развитием приоритетных направлений. Действительно, изменяя матрицы логических сверток можно настраивать дерево критериев на изменившиеся цели развития, а построив сеть напряженных вариантов можно быстро сравнить различные варианты развития и выбрать минимальный по стоимости при заданном уровне риска (характеризуемом величиной резерва).

Введенные понятия резерва направления, критических направлений, критического варианта развития, имеют определенную аналогию с понятиями резерва операций, критических операций и критического пути, применяемыми в теории сетевого планирования и управления. Однако содержание введенных нами понятий и, соответственно, методы расчета отличаются. Дальнейшее развитие предложенной модели предполагается в направлении учета взаимного влияния программ развития различных направлений, введения вероятностной меры риска, а также анализа различных механизмов реализации программ развития.

1.3. Конкурсные механизмы формирования состава исполнителей направлений научно-технических программ

Для повышения эффективности использования капиталовложений в новые перспективные области науки и техники требуется разработка механизмов функционирования, побуждающих к участию в исследованиях те научные коллективы, эффективность деятельности которых в данном направлении максимальна. Одним из классов таких механизмов являются конкурсные механизмы распределения ресурсов (финансирования). Рассмотрим несколько простых моделей конкурсных механизмов.

Для иллюстрации свойств конкурсных механизмов рассмотрим простую модель. Пусть финансирующий орган (Министерство, Фонд и т.д.) проводят конкурс на финансирование проектов реализации некоторой программы (приоритетного направления). Общий объем финансирования задан и равен R. Число участников n заранее не ограничено, но, естественно, конечно. Число победителей, т.е. участников конкурса, получивших финансирование в требуемом объеме, заранее не фиксировано. Каждый из претендентов сообщает заявку S_i - оценку затрат, необходимых для реализации i-го направления (S_i может быть оценкой затрат с учетом фиксированной для i-го исполнителя нормы прибыли). Финансирующий орган собирает оценки L_i экспертов по социально-экономической эффективности i-го проекта. Вопроса о достоверности и объективности этих оценок мы затрагивать не будем. Величины { R, $\{L_i\}$ $i=\overline{1,n}$ } известны и управляющему органу (УО), и всем исполнителям. Пусть i-ый исполнитель имеет следующую целевую функцию:

$$f_i = u_i(s_i - c_i) \qquad i=\overline{1,n}, \qquad (1.5)$$

где $u_i(\cdot)$ - функция полезности i-го исполнителя, c_i- его затраты, и исполнитель должен обеспечить выполнение $s_i \geq c_i$.

Задачей УО является: на основании имеющейся у него информации распределить весь ресурс, обеспечив при этом максимальную суммарную эффективность капиталовложений. Для этого проводится конкурс, заключающийся в упорядочивании исполнителей по их эффективности $\xi_i = \frac{L_i}{s_i}$ и выделении ресурса последовательно исполнителям в порядке убывания их эффективностей, пока не закончится весь ресурс.

Для рассматриваемой модели справедлива следующая

Теорема 3. При использовании процедуры:

$$x \to \min$$
$$\sum_{i \in Q(x)} (L_i/x) \leq R, \qquad (1.6)$$

где

$$Q(x) = \{ i: \frac{L_i}{c_i} \geq x \}, \qquad (1.7)$$

в конкурсном механизме распределения финансирования существует точка равновесия Нэша, в которой все исполнители сообщают одинаковые оценки эффективности, получают заявленное количество ресурса и весь ресурс распределяется полностью.

Доказательство. Пусть весь ресурс распределен. Для получения большего количества ресурса i-ый исполнитель, $i \in Q(x)$, должен увеличивать S_i, однако, это не имеет смысла, так как весь ресурс распределен. Если, хотя бы у двух исполнителей различные оценки эффективности, то исполнитель с большей оценкой может ее уменьшить (увеличить S_i) и получить большее количество ресурса за счет второго исполнителя. Такая процедура не закончится пока весь ресурс не будет распределен полностью, т.к. если распределен не весь ресурс, то имеется возможность увеличения заявок до тех пор, пока не закончится весь реурс Теорема доказана.

Таким образом мы доказали, что при использовании процедуры (1.6) существует равновесие Нэша. Оно оптимально с точки зрения финансирующего органа так как процедура (1.6) по построению максимизирует суммарную эффективность использования ресурса R.

До сих пор мы рассматривали ситуацию, в которой затраты исполнителя точно ему известны на момент сообщения заявок. Если затраты являются случайной величиной, то при выборе заявки исполнитель вынужден использовать тот или иной способ устранения неопределенности относительно своих затрат.

Исследуем теперь насколько выгодно исполнителям участие в конкурсе в случае, когда c_i - случайная величина.

Целевые функции элементов имеют вид:

$$f_i^* = u_i[\ L_i/x - c_i\ ] \qquad i=\overline{1,n}\ . \qquad (1.8)$$

Пусть c_i - случайная величина, принимающая с вероятностями $p_i(c_i)$ значения из интервала $[c_i^-;c_i^+]$.

Рассмотрим следующую процедуру. Обозначим $\langle\cdot\rangle_i$ - способ устранения неопределенности i-го исполнителя.

Пусть все исполнители должны обеспечить себе при попадании в число победилей полезность не менее V_i. К примеру, $u_i(0) = V_i$. Тогда, подавая заявки на конкурс, каждый исполнитель должен определить будет ли выполняться условие:

$$\langle\ f_i^*\ \rangle_i \ge V_i\ , \qquad i=\overline{1,n}\ . \qquad (1.9)$$

Если это условие не выполняется, то исполнитель предпочтет не участвовать в конкурсе. Напомним, что в детерминированном случае условие вхождения исполнителя в число победителей имело вид $L_i/x \ge c_i$. Проанализируем некоторые возможные способы устранения неопределенности.

1. Пусть исполнитель рассчитывает на гарантированный результат, т.е. он хочет обеспечить выполнение:

$$u_i(s_i^* - c_i^+) \ge V_i \qquad (1.10)$$

Если u_i – возрастающая функция, то условие участия элемента в конкурсе примет вид:

$$s_i^{\Gamma} \ge c_i^+ \qquad (1.11)$$

2. Если АЭ рассчитывает на ожидаемое значение полезности, то:

$$\int_{c_j^-}^{c_j^+} u_j(s_j - c_j) \, p_j(c_j) \, dc_j \ge V_j . \qquad (1.12)$$

Условия участия исполнителя в конкурсе в этом случае зависят от вида функции полезности исполнителя. Качественно рассмотрим возможные случаи:

а) исполнитель нейтрален к риску, т.е. имеет линейную функцию полезности, тогда:

$$s_{ja}^* \ge \int_{c_j^-}^{c_j^+} c_j \, p_j(c_j) \, dc_j = \bar{c}_j , \qquad (1.13)$$

где $\bar{c}_j$ – ожидаемая величина затрат.

b) Если исполнитель не склонен к риску (т.е. имеет строго вогнутую возрастающую функцию полезности), то он согласится участвовать в конкурсе при условии:

$$s_{jb}^* \ge \bar{c}_j + \pi_j^+(p_j(c_j), r_j) , \qquad (1.14)$$

где $\pi_j^+(\cdot) \ge 0$ – премия за риск, за которую исполнитель примет участие в лотерее, зависящая от распределения затрат и степени вогнутости функции полезности исполнителя: $r_j(t) = - \frac{u_j''(t)}{u_j'(t)}$ – коэффициент, выражающий степень неприятия риска исполнителя [10].

в) если исполнитель склонен к риску (т.е имеет строго выпуклую возрастающую функцию полезности), то аналогично п. b) он согласится участвовать в конкурсе при условии:

$$s^*_{jc} \geq \tilde{c}_j - \pi^-_j(\, p_j(c_j),\; r_j\,)\;, \qquad (1.15)$$

где $\pi^-_j(\cdot)\geq 0$ - премия за риск , которую исполнитель готов заплатить за участие в лотерее.

Из анализа выражений (1.10)-(1.15) видно, что для минимальных количеств ресурса справедливо следующее соотношение:

$$s^*_{jc} \leq s^*_{ja} \leq s^*_{jb} \leq s^*_{j\Gamma}\;. \qquad (1.16)$$

3. Исполнитель при принятии решения об участии в конкурсе может ориентироваться на следующее требование: "я должен обеспечить выполнение условия (1.10) с вероятностью $(1-q_k)$" - так называемая "стратегия q - риска". При использовании такой стратегии функция полезности исполнителя играет уже меньшую роль, чем при учете средних значений затрат, и условие участия в конкурсе принимает вид:

$$s^*_k \geq F^{-1}_k(1-q_k)\;, \qquad (1.17)$$

где $F^{-1}_k(\cdot)$ - функция, обратная интегральной функции распределения затрат k-го исполнителя.

Проведенный анализ различных методов устранения неопределенности и сделанные оценки (1.12)-(1.17) позволяют сделать вывод, что итоговое равновесие и окончательный состав победителей конкурса в случае неопределенных затрат, в значительной степени определяется способом устранения неопределенности (см. (1.16)).

Рассмотрим теперь конкурсный механизм назначения головных организаций по направлениям програмы или проекта. Пусть n научных коллективов претендуют на роль ведущей организации некоторого направления (проекта, програмы, темы и т.д.). Каждый из исполнителей сообщает оценки S_i собственных затрат финансирующему органу, как и в предующей модели, сообщаются также $\{r_i\}$ - оценки экспертов. В данном случае будем считать, что объем работы и обязанности головной организации фиксированы, а r_i -

оценка риска невыполнения обязанностей по руководству направлением, даваемая экспертным советом i-му исполнителю.

Основная проблема, которая должна быть решена финансирующим органом (органом, принимающем решение) - выбор критерия эффективности $\xi_i = \xi_i(s_i, r_i)$. В качестве такого критерия может быть использована величина $\xi_i = (s_i \cdot r_i)^{-1}$, т.е. величина, обратная ожидаемым потерям.

Более общей задачей является задача выбора ведущих организаций по m наравлениям из n проектов.

Обозначим c_{ij} - затраты i-го исполнителя (организации) на реализацию j-го направления (проекта); ρ- ожидаемая прибыль на единицу затрат, которая может быть получена путем заключения договора с другим финансирующим органом. Величина ρ называется рентабельностью договора.

Обозначим $A_{ij} = (1+\rho)c_{ij}$ - минимальную цену, по которой организация i еще берется за проект j, S_{ij} - цена за проект j, предлагаемую организацией i (очевидно, $S_{ij} \geq A_{ij}$). Центр (организатор конкурса) должен назначить все проекты так, чтобы суммарная стоимость их реализации была минимальной. Примем, что каждая организация берется за реализацию не более чем одного проекта. Для формализации задачи принятия решений центром обозначим $x_{ij} = 1$, если проект j назначается организации i и $x_{ij} = 0$, в противном случае. Тогда задачу распределения проектов по организациям можно представить в виде следующей математической задачи:

$$\sum_{i,j} x_{ij} s_{ij} \to \min$$

$$\sum_{i} x_{ij} = 1 , \quad j=\overline{1,m} \qquad (1.18)$$

$$\sum_{j} x_{ij} = 1 , \quad i=\overline{1,n}$$

При этом цена j-го проекта:

$$Ц_j = \sum_{i=1}^{n} x_{ij} s_{ij} .$$

фактически здесь переплетаются несколько конкурсов (по числу проектов), связанных между собой условием, что участник может быть победителем только в одном из них (то есть, может получить только один проект). Анализ данного конкурсного механизма в существенной степени зависит от соотношения числа проектов и числа организаций.

Сначала докажем теорему об оптимальности конкурсого механизма распределения проектов.

Теорема 4. Ситуации равновесия Нэша соответствует назначение проектов, минимизирующее сумму затрат:

$$C = \sum_{i=1}^{n} x_{ij} c_{ij} \qquad (1.19)$$

Доказательство. Пусть $\{S^*_{ij}\}$ - ситуация равновесия. Пусть $x^*_{ij} = 1$. Обозначим $\Delta_i = S^*_{ij} - A_{ij} = Ц_i - A_{ij}$. Заметим, что если $S_{ik} - A_{ik} > \Delta_i$, то организация будет уменьшать S_{ik}, надеясь получить проект k и обеспечить больший выигрыш. Это уменьшение будет продолжаться до $S_{ik} = A_{ik} + \Delta_i$. Если же $S_{ik} < A_{ik} + \Delta_i$, то увеличение S_{ik} до величины $A_{ik} + \Delta_i$, очевидно, не изменит назначения проектов. Поэтому решение задачи (1.19) со значениями $\{S^*_{ik}\}$ эквивалентно решению такой же задачи со значениями $S^*_{ij} = A_{ij} + \Delta_i$, $i,j=\overline{1,n}$. Наконец, естественно принять, что все организации, не получившие проектов, будут сообщать минимальные цены $S_{ij} = A_{ij}$, надеясь получить какой-либо проект. Отсюда следует, что назначение проектов, минимизирующее $\sum_{i,j} (A_{ij}+\Delta_i)\ x_{ij}$, минимизирует и $\sum_{i,j} A_{ij}\ x_{ij}$. Однако отсюда не следует, что проекты будут назначены по минимальным ценам A_{ij}, поскольку значения Δ_i могут быть весьма высокими. Теорема доказана.

Рассмотрим сначала случай, когда число организаций равно числу проектов.

Пусть $S = \{S_{ij}\}$ - некоторая ситуация (совокупность цен, предлагаемых организациями), а $x_{ij}(S)$ - соответствует решению задачи назначения. Заметим, что если организация увеличит цены всех проектов на одну и ту же величину $S'_{ij} = S_{ij}+\delta_i$, $j=\overline{1,m}$, то решение задачи назначения не изменится и организация получит тот же проект, но по более высокой цене. Поэтому, естественно, возникает тенденция роста цен. До каких пор? Ограничим цену каждого проекта некоторой величиной L_i (лимитная цена проекта). Ясно, что хотя бы по одному проекту каждая организация предложит лимитную цену.

Пусть организации перенумерованы таким образом, что в оптимальном решении задачи назначения проектов при $S_{ij} = A_{ij}$, проект i получает организация с номером i и поэтому $Ц_i = S_{ii}$. Примем начальные цены $Ц^*_i = \alpha_i$, а начальные оценки $S_{ij} = \alpha_i$, $i = \overline{1,n}$, $j=\overline{1,m}$. Далее проводим корректировку оценок и цен по формулам:

$$S_{ij} = \min (\alpha_i, Ц_i + A_{ij} - A_{ii}) , \quad (1.20)$$

$$Ц_j = \min (\alpha_j, S_{ij}) . \quad (1.21)$$

Можно доказать, что эта процедура конечна и в результате будут получены равновесные оценки $\{S_{ij}\}$ и, соответственно, равновесные цены $Ц^*_i = S^*_{ii}$, $i=\overline{1,n}$. Для нас важно, что отправной точкой процедуры являются максимальные (лимитные) цены. Более того, хотя бы один проект будет назначен по лимитной цене.

Таким образом, случай распределения равного числа организаций и проектов лишь условно можно считать конкурсным механизмом. Скорее он близок к монопольному варианту финансирования проектов. Это особенно очевидно, если каждая организация специализируется на определенном виде проектов, например, организация i специализируется на проекте i.

Пример 4. Пусть $L_i = \alpha$, $A_{ii} = a < \alpha$, $A_{ij} = \alpha$, $j \neq i$. Очевидно, что ситуация равновесия $S^*_{ij} = \alpha$ для всех i, j. Соответствующее равновесное решение задачи назначения проектов: $x^*_{ii} = 1$, $x^*_{ij} = 0$, $j \neq i$, $Ц^*_i = \alpha$, $i=\overline{1,n}$.

Эффективность конкурсного механизма, оцениваемая по отношению минимальной стоимости всех проектов $S_{min} = n\,a$ и их стоимости в ситуации равновесия $S^* \alpha = n$, будет равна

$$K = \frac{S_{min}}{S^*} = \frac{a}{\alpha} \ll 1$$

если $a \ll \alpha$.

Пример 5. Пусть имеются два проекта и две организации. Значения A_{ij} приведены в таблице

i\j	1	2
1	15	10
2	25	15

Лимитные цены проектов $\alpha_1 = 120$, $\alpha_2 = 100$. Определим равновесные оценки S^*_{ij} и цены α^*_i.

Имеем

$$S^0_{21} = S^0_{11} = \alpha_1 = 120, \quad S^0_{12} = S^0_{22} = 100,$$

$$Ц^0_1 = 120, \qquad Ц^0_2 = 100.$$

1 шаг.

$$S^1_{12} = \min\,[\alpha_2;\ Ц^0_1 + A_{12} - A_{11}] = 100,$$

$$S^1_{21} = \min\,[\alpha_1;\ Ц^0_2 + A_{21} - A_{22}] = 110,$$

$$S^1_{11} = Ц^1_1 = \min\,[\alpha_1;\ S^1_{21}] = 110,$$

$$S^1_{22} = Ц^1_2 = \min\,[\alpha_2;\ S^1_{12}] = 100.$$

Получили равновесную ситуацию:

$$S^*_{11} = S^*_{21} = 110, \quad S^*_{22} = S^*_{12} = 100,$$

$$Ц^*_1 = 100, \quad Ц^*_2 = 100.$$

Эффективность конкурсного механизма в данном случае:

$$K = \frac{30}{210} = \frac{1}{7},$$ то есть весьма мала.

Ситуация в корне меняется при появлении еще одной организации. Самое главное, что при этом договорные цены в ситуации равновесия определяются уже не лимитными ценами

$\{\alpha_i\}$, а минимальными ценами $\{A_{ij}\}$. Чтобы показать это, примем, что лимитные цены достаточно велики и покажем, что они никак не влияют на равновесные. Пусть организации перенумерованы таким образом, что организация с номером i получает проект i, а организация с номером ($m + 1$) не получает проекта. В этом случае $\phi_0 = \sum_i A_{ii}$ определяет оптимальное решение задачи минимизации $\sum_{i,j} A_{ij} x_{ij}$.

Как уже отмечалось выше, организация ($m + 1$) сообщает в равновесии минимальные цены $S_{m+1,j} = A_{m+1,j}$, а остальные организации:

$$S_{ij} = A_{ij} + \Delta_i , \quad i=\overline{1,m}.$$

Для определения Δ_i решим m задач следующего вида:

$$\sum_{j=1}^{m} [A_{m+1,j} x_{m+1,j} + \sum_{i\neq k} A_{ij} x_{ij}] \to \min \qquad (1.22)$$

при ограничениях:

$$\sum_{i\neq k} x_{ij} = 1 ,$$

$$\sum_{i\neq k} x_{ij} + x_{m+1,j} = 1 , \quad j=\overline{1,m}. \qquad (1.23)$$

фактически мы заменили организацию k на организацию $(m+1)$ в задаче назначения проектов. Обозначим ϕ_k значение целевой функции в оптимальном решении этой задачи. Заметим, что $\phi_k \geq \phi_0$ для всех k. Пусть теперь $\Delta_k > \phi_k - \phi_0$. В этом случае решение задачи минимизации $\sum_{i,j}(A_{ij}+A_j)\ x_{ij}$ не будет совпадать с решением задачи минимизации $\sum_{i,j} A_{ij}\ x_{ij}$. Поэтому в ситуации равновесия должно быть $\Delta_k \leq \phi_k - \phi_0$, а так как организации заинтересованы в увеличении Δ_k , то в равновесии $\Delta_k = \phi_k - \phi_0$ и: $s^*_{ij} = A_{ij} + \phi_i - \phi_0$, $\phi_{m+1} = \phi_0$. Эффективность конкурсного механизма в случае $n = m+ 1$ определяется выражением:

$$K = \frac{\phi_0}{\sum_{i=1}^{m} \phi_i - (m-1)\phi_0} .$$

Поскольку все ϕ_i, $\overline{i=1,n}$ - определяются на основе минимальных цен A_{ij} то эффективность конкурсного механизма определяется только минимальными ценами и не зависит от лимитных цен (при достаточно больших лимитных ценах).

Пример 6. Возьмем задачу из примера 4 и добавим одну организацию, которая может взяться и за проект 1, и за проект 2, которые для них одинаково выгодны, то есть $A_{31}=A_{32}=b$. Пусть $a < b < \alpha$. В этом случае $\phi_0 = 2a$, $\phi_1 = \phi_2 = a + b$, $\Delta_1 = \Delta_2 = b - a$ и эффективность конкурсного механизма

$$K = \frac{2a}{2b} = \frac{a}{b}.$$

Цены обоих проектов равны $Ц_1^* = Ц_2^* = b$.

Пример 7. Добавим теперь одну организацию в задаче примера 5 со следующими данными $A_{31} = 40$, $A_{32} = 20$. Имеем

$$A = \begin{Vmatrix} 15 & 10 \\ 25 & 15 \\ 40 & 20 \end{Vmatrix}$$

$\phi_0 = 30$, $\phi_1 = 45$, $\phi_2 = 35$, $\Delta_1 = 15$, $\Delta_2 = 5$.

Ситуация равновесия:

$S_{11}^* = 30$, $S_{12}^* = 25$

$S_{21}^* = 30$, $S_{22}^* = 20$

$S_{31}^* = 40$, $S_{32}^* = 20$

Назначение проектов $x_{11}^* = x_{12}^* = 1$, остальные $x_{ij}^* = 0$. Итак, первая организация получает первый проект по цене $Ц_1^* = 30$, а вторая - второй, по цене $Ц_2^* = 20$. Эффективность конкурсного механизма стала:

$$K_1 = \frac{30}{50} = 0.6,$$

то есть повысилась по сравнению с предыдущим случаем $K = \frac{1}{7}$ в 4,2 раза.

Приведенные примеры иллюстрируют, насколько резко может увеличиться эффективность конкурсного механизма при добавлении всего одного нового участника.

Если $n > m + 1$, то анализ конкурсного механизма проводиться аналогично предыдущему случаю. Если обозначить

$$\Phi_{ks} = \min \sum_{j=1}^{m} [\ x_{ij}A_{ij} + x_{sj}A_{sj}\ ] \qquad (1.24)$$

при ограничениях:

$$\sum_{j=1}^{m} x_{ij} = 1\ ,\ i \neq s\ ,\ i \neq k,$$

$$\sum_{i \neq k} x_{ij} + x_{sj} = 1\ ,\quad j = \overline{1, m}, \qquad (1.25)$$

то величины Δ_i, $i = \overline{1, m}$ в равновесии определяются условиями:

$$\Delta_i = \min_{s > m} (\ \Phi_{is} - \Phi_0\ ).$$

Эффективность конкурсного механизма максимальна, если в конкурсе участвуют равные соперники, то есть $A_{ij} = A_j$ для всех $i = \overline{1, n}$ и, следовательно, $\Phi_{is} = \Phi_0$, $\Delta_i = 0$, то есть все проекты назначаются по минимальным ценам A_j, $j = \overline{1, m}$. Таким образом, с увеличением числа участников конкурса эффективность конкурсного механизма, как правило, увеличивается (во всяком случае не уменьшается).

Пример 8. К трем организациям из примера 7 добавим четвертую

$$A = \left\|\begin{matrix} 15 & 10 \\ 25 & 15 \\ 40 & 20 \\ 20 & 40 \end{matrix}\right\|$$

Если $n > m + 1$, то анализ конкурсного механизма проводится аналогично предыдущему случаю. Однако объем вычислений быстро растет с ростом n. Так при $n = m + 2$ необходимо рассмотреть C_m^2 задач, получаемых заменой любых двух организаций i, j, получивших проекты, на две организации, не получившие проектов в равновесии.

Обозначим

$$\Phi_{ij} = \min \sum_{s} \sum_{k \neq i, j} x_{ks}A_{ks} \text{ при условиях:}$$

$$\sum_{k\neq i,j} x_{ks} = 1, \quad s=\overline{1,m},$$

$$\sum_{s=1}^{m} x_{ks} = 1, \quad k \neq i, j .$$

В этом случае любое паретовское решение системы неравенств:

$$\Delta_i + \Delta_j \le \Phi_{ij} - \Phi_0 \qquad i,j=\overline{1,m},$$

$$0 \le \Delta_i \le \Phi_i - \Phi_0 \qquad i=\overline{1,m},$$

определяет ситуацию равновесия. Эффективность конкурсного механизма можно оценить, определив при условии:

$K = \dfrac{\Phi_0}{\Phi_0 + \Delta_{max}}$. Имеем: $\Phi_{13} = 35$, $\Phi_{14} = 35$, $\Phi_{23} = 35$,

$\Phi_{24} = 30$, $\Delta_1 = \min(35;\ 35) - 30 = 5$, $\Delta_2 = \min(35;30) - 30 = 0$.

В данном случае, ситуация равновесия:

$$S^*_{11} = 20, \quad S^*_{21} = 25, \quad S^*_{31} = 40, \quad S^*_{41} = 20$$

$$S^*_{12} = 15, \quad S^*_{22} = 15, \quad S^*_{32} = 20, \quad S^*_{42} = 40.$$

Существуют два варианта назначения проектов. В первом варианте первый проект получает организация 1, а во втором - организация 4. Второй проект в обоих вариантах получает организация 2.

Эффективность конкурсного механизма при увеличении числа участников конкурса до четырех организаций увеличивается до $K = \frac{6}{7}$, $0,84 > 0,6$.

Таким образом, рассмотренные в настоящем разделе конкурсные механизмы позволяют эффективно решать задачи определения оптимального состава участников проекта и оптимального распределения финансирования между направлениями научно-технических программ.

2. МЕХАНИЗМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ РЕАЛИЗАЦИИ ПРИОРИТЕТНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ

2.1. Анализ надежности НТП и методы ее повышения

Надежность выполнения программы (вероятность достижения поставленных целей) определяется, во-первых, составом проектов, входящих в программу, а во-вторых, надежностью самих проектов. Соответственно, требуемая надежность программы может быть обеспечена за счет подбора проектов (включая дублирование работ), а также путем соответствующего стимулирования исполнителей. Ниже рассматриваются оба этих способа обеспечения надежности программы.

Рассмотрим следующий механизм стимулирования исполнителей. Исполнитель - активный элемент (АЭ), получив финансирование, выбирает некоторое действие $y \in A$. Под влиянием случайных и неопределенных факторов степень выполнения программы (СВП) z может принимать различные значения. Примем, что и управляющий орган, и АЭ знают распределение вероятностей: $p(z,y)$ - вероятность реализации степени выполнения программы $z \in A_0$ при действии АЭ - y (к примеру, можно положить $z \in [0,1]$). Введем понятие критического значения степени выполнения программы v как такой величины, что при $z < v$ программа считается невыполненной. Под надежностью исполнителя (надежностью направления программы) будем понимать вероятность того, что z окажется не меньше, чем v при некотором действии АЭ. Рассмотрим теперь, какое действие АЭ будет выбирать. Пусть целевая функция АЭ имеет вид :

$$f = h(z) - \chi(z) , \qquad (2.1)$$

где $h(z)$ - доход АЭ от СВП z, а $\chi(z)$ - штрафы, выплачиваемые элементом за отклонение реальной СВП от требуемой. В дальнейшем будет считаться, что все функции обладают всеми необходимыми свойствами (например, гладкость, если не оговорено особо и т. д.). Задача управляющего органа – выбрать систему штрафов $\chi(\cdot)\in M$, максимизирующую ожидаемое значение СВП, при условии, что выбираемое АЭ – им действие максимизирует его ожидаемую полезность при заданной системе штрафов, т. е.

$$\int_{A_0} h(z)p(z,y)dz - \int_{A_0} \chi(z)p(z,y)dz \to \max_{y\in A} \qquad (2.2)$$

Мы не будем останавливаться подробно на описании методов решения задачи синтеза оптимальных систем стимулирования [1], [3]. Предположим, что нам известно решение этой задачи, т. е. система штрафов $\chi(\cdot)$ и действие АЭ y^*, удовлетворяющее (2.2) (максимизирующее ожидаемую полезность АЭ). Таким образом, надежностью исполнителя в данном случае будет величина:

$$q = \text{Prob}\ \{ z \ge v \mid y = y^* \} = 1 - F(v,\ y^*)\ , \qquad (2.3)$$

где $F(z,y)$ – интегральная функция распределения, соответствующая плотности $p(z,y)$. Видно, что надежность определяется функцией распределения и величиной y^*. Функция распределения, как правило, является экзогенно заданной (известной из практики или получающейся в результате использования процедур экспертного оценивания и т. д.). Значит, единственная величина, изменяя которую, управляющий орган может влиять на v это – y^*. Рассмотрим следующий пример.

Пример 9. В [1] была доказана теорема о том, что если $F(z,y)$ – равномерное на отрезке $[y-\Delta, y+\Delta]$ распределение, то функция штрафов:

$$\chi_1^* = \begin{cases} C, & \text{при } |x-z| \ge \frac{\Delta}{2} \\ 0, & \text{при } |x-z| < \frac{\Delta}{2} \end{cases} \qquad (2.4)$$

оптимальна в классе $M = \{ \chi(x,z):\ 0\le\chi(x,z)\le C \}$, где C – некоторая константа.

Пусть $h(z)$ – линейная убывающая функция, т. е. $h(z) = A - k\ z$.

Очевидно $\bar{h}(y) = Eh(z) = A - ky$. Используя функцию штрафа, вида:

$$\chi_0^* = \begin{cases} C, & \text{при } z \le x \\ 0, & \text{при } z > x \end{cases} \tag{2.5}$$

получим:

$$\int_{A_0} \chi_0^*(z)p(z,y)dz = \begin{cases} C, & y < x - \Delta \\ \frac{C}{\Delta}(x-y), & y \in [x-\Delta, x] \\ 0, & y \ge x. \end{cases}$$

Пусть выполнено условие $\frac{C}{k} > \Delta$, тогда оптимальное значение x определяется из условия (см. рис. 6)

$$x^* = \frac{C}{k} \tag{2.6}$$

Т.е. в рассматриваемом примере оптимальное действие АЭ $y^* = x^*$.

Надежность исполнителя в этом случае будет равна (см. рис. 7):

$$q(v) = \begin{cases} 1, & q < x^* - \frac{\Delta}{2} \\ \frac{C}{\Delta}(x-y), & y \in [x-\Delta, x] \\ 0, & y \ge x. \end{cases} \tag{2.7}$$

Рассматриваемый нами пример хорошо иллюстрирует взаимосвязь между параметрами задачи синтеза оптимальной функции стимулирования и задачей определения надежности исполнителя. Пусть, к примеру, требуется обеспечить надежность $q = 0,8$ при $v = 1$. Тогда, подставляя в (2.7), определим: $x = 1 + 0.3\Delta$, а из (2.6) следует, что $\bar{c} = k(1+ + 0.3)$. Т.е. мы решили следующую задачу: каковы должны быть ограничения задачи (2.2) (множество M, в данном случае), чтобы обеспечить требуемую надежность и получили, что верхнее ограничение на величину штрафов должно быть не меньше, чем $\bar{c}$.

В более общем случае связь между задачей (2.2) и задачей синтеза системы стимулирования, обеспечивающей максимальную надежность выполнения программы, устанавливается следующей теоремой:

Теорема 5. Если $p(z,y) = \hat{p}(z-y)$, где $\hat{p}(\cdot)$ – унимодальная функция распределения с $Ez=y$ и:

$$p(z,y) > 0 \quad \forall z\in A_0, \ \forall y\in A, \qquad (2.8)$$

а множества A и A_0 компактны, то необходимым и достаточным условием максимизации надежности контракта является максимизация ожидаемого действия исполнителя.

Доказательство. Обозначим $t = z - y$. Тогда $F(z,y) = \hat{F}(t)$, где $\hat{F}(t)$ – неубывающая функция (так как это – функция распределения). Дифференцируя $F(z,y)$ по y, получим:

$$\forall v\in A_0 \ \frac{\partial q(v,y)}{\partial y} = -\frac{\partial F(v,y)}{\partial y} = -\frac{\partial \hat{F}(v-y)}{\partial y} = p(v-y) > 0. \quad (2.9)$$

Так как в (2.2) q максимизируется на множествах A и M, то в силу компактности A максимум q (см. (2.9)) достигается именно при $y = y^*$.

Обратно, так как $p(z,y) > 0 \ \forall z\in A_0, \ \forall y\in A$, то максимум y достигается при максимальном q. Теорема доказана.

Замечание. Следствие условия (2.8), выведенное в теореме (т.е. $\frac{\partial F(v,y)}{\partial y} \le 0$) имеет простую содержательную ин терпретацию. Запишем его в следующем виде:

$$F(v,y_1) \ge F(v,y_2) \quad \forall y_1 \le y_2 \ , \ y_1,y_2\in A.$$

Т.е. вероятность того, что результат деятельности АЭ будет меньше чем v, больше для меньших действий АЭ. Или, что эквивалентно, большим действиям соответствуют большие СВП (в смысле стохастического доминирования).

Несколько более сложная задача – определение оптимального с точки зрения максимизации надежности распределения финансирования в многоэлементной системе. Пусть для системы, состоящей из m взаимосвязанных элементов известны зависимости: $q_i = q_i(c_i)$, $i=\overline{1,m}$ и $Q = Q(q_1, q_2, \ldots, q_m)$, где $q_i = q_i(c_i)$ – зависимость ожидаемой надежности i-го исполнителя от количества получаемого ресурса (эта зависимость является результатом решения соответствующей задачи синтеза оптимальной системы стимулирования), а Q – надежность всей системы. В результате решения следующей задачи условной оптимизации:

$$Q = Q(q_1, q_2, \ldots, q_m) \to \max_{\vec{c}}$$

при ограничении

$$\sum_{i=1}^{m} c_i = R,$$

получаем $\vec{c}^{\,*}$ – оптимальное распределения ресурса R. Отметим, что бюджетные ограничения в нашей модели выполняются с вероятностью единица.

Таким образом, мы описали методы определения надежности выполнения направлений программы отдельными исполнителями при заданной системе распределения ресурса (финансирования). Перейдем теперь к определению понятия надежности выполнения программы в целом.

Пусть заданы вероятности p_{ij} оценки j по направлению i для выбранного варианта программы. Как определить вероятность требуемого значения комплексной оценки?

Будем предполагать, что система оценок полна, в том смысле, что в результате реализации программы каждое направление будет иметь одну и только одну оценку $\sum p_{ij}=1$. Кроме того, примем, что направления независимы (достижение на направлении i оценки j не влияет на надежность других направлений). В основе процедуры оценки надежности программы лежит базовая процедура определения надежности обобщенного показателя S, получаемого в результате свертки двух показателей, надежность которых уже определена.

Обозначим Q_k – множество пар (i,j), где i- оценка показателя m, j-оценки показателя n, имеющих оценку K по обобщенному показателю S. Тогда вероятность p_{ks} достижения обобщенной оценки k равна:

$$p_{ks} = \sum_{i,j \in Q_k} p_{im} p_{jn} .$$

Совокупность вероятностей $\{p_{ks}\}$ и определяет надежность обобщенного показателя S. Заметим, что

$$\sum_k p_{ks} = \sum_k \sum_{i,j \in Q_k} p_{im} p_{in} = \sum_{i,j} p_{im} p_{jn} = 1.$$

Таким образом, начиная с заданной надежности направлений, двигаясь снизу вверх и применяя базовую процедуру, можно определить надежность программы в целом.

До сих пор мы рассматривали задачу определения надежности программы в целом, зная надежности исполнителей, т.е. набор исполнителей был фиксирован. Несмотря на несколько обнадеживающие результаты теоремы 5 (в том смысле, что на фиксированном наборе исполнителей в ряде случаев (условие (2.8)) использование оптимальных функций штрафов приводит к максимально возможным значениям надежности, весьма часто надежность программы может оказаться достаточно низкой даже при высокой надежности большинства исполнителей. Для иллюстрации этого утверждения рассмотрим следующий пример.

Пример 10. Пусть на результаты программы наложено следующее требование: программа считается невыполненной если сорвано хотя бы одно из направлений программы. Тогда для n исполнителей надежность выполнения программы естественно определить как:

$$Q = \prod_{i=1}^{n} q_i. \qquad (2.10)$$

Очевидно, что при больших n Q может оказаться мало даже при q_i близких к единице. Такая же ситуация будет и, к примеру, при $q_i \cong 1 \ \forall i \neq j$ и $q_j \ll 1$.

В рассмотренном выше примере все направления программы были "незаменимы", т.е. критическими (следуя терминологии, введенной в п. 1.2), что приводило к низкой надежности выполнения программы в целом. Можно указать два возможных направления повышения надежности. Во-первых, это увеличение надежности исполнителей, т.е. замена или дополнительное стимулирование наименее надежных из них и выбор параметров механизма функционирования (см., например, влияние ограничений механизма стимулированияй на величину надежности исполнителя в примере настоящего раздела). Второй, менее тривиальный подход, это введение некоторого ряда избыточности, т.е. расширение состава исполнителей направлений программы и дублирование (не обязательно полное) критических направлений програмы. Использование таких процедур формирования состава исполнителей, очевидно, повысит надежность выполнения програмы, но в то же время потребует и дополнительных затрат. Поиску разумного компромисса, т.е. разумного соотношения между увеличением надежности и требуемыми для этого увеличения затратами посвящены рассуждения излагаемые в оставшейся части настоящего раздела.

Для формализации приведенных выше утверждений о возможных путях повышения надежности нам требуется ряд определений.

Будем рассматривать научно-техническую программу, как функциональную систему (ФС) $F = \{ f_i,\ i=\overline{1,n} \}$, где f_i - функция, которую может реализовать (и реализовывает) i-ый исполнитель. Пусть к НТП предъявляется следующее требование: к моменту окончания ее реализации она должна реализовывать набор функций $\tilde{F}$ ($\tilde{F}$ может рассматриваться как набор результатов выполнения програмы). Назовем ФС F функционально полной (ФП) относительно $\tilde{F}$, если $\forall \tilde{f} \in \tilde{F}$ $\exists l_{\tilde{f}} \in F^*$, где $l_{\tilde{f}}$ -композиция функций из множества всевозможных композиций F^* элементов F, реализующая $\tilde{f}$. ФС F называется функционально избыточной (ФИ) (в дальнейшем мы будем опускать "относительно $\tilde{F}$"), если $\exists f' \in F$: $\exists l_{f'} \in (F\setminus\{f'\})^*$. Элемент f', удовлетворяющий этому условию называется функционально избыточным. Функционально необходимой и достаточной (ФНД) системой называется ФП система, не содержащая собственных ФП подмножеств. Функциональный отказ - событие, заключающееся в переводе системы F в ФС $F\setminus\{\tilde{f}\}$. Полный функциональный отказ - отказ в ФНД системе (т.е. отказ, приводящий к потере функциональной полноты). К примеру, все отказы в примере 10 были полными функциональными оказами.

Введенные определения позволяют сформулировать приведенные выше интуитивные идеи о целесообразности введения избыточности более корректным образом: ФИ система обладает надежностью не меньшей, чем ФНД система.

Для решения задачи об определении оптимального состава (варианта) системы (программы) необходимо уметь решать следующие задачи: определения ФП - подмножеств ФИ системы; определение надежности и стоимости реализации того или иного ФП подмножества; выбора критериев и способов оптимизации [8].

Зная способы определения надежности системы по надежностям исполнителей (эти способы были описаны выше) мы должны решить задачу об определении оптимального уровня избыточности в системе. Для этого рассмотрим следующую модель (рис. 8) $F_0^1 \ldots F_0^{n_0}$ - представляют различные способы построения ФНД систем, полных в $\tilde{F}$. Их уровень избыточности равен нулю. $F_1^{11} \ldots F_1^{n_0 n_{0k}}$ получены добавлением одного избыточного элемента (уровень избыточности равен, соответственно, единице). Процесс увеличений чисел избыточных элементов (ветвления дерева, изображенного на рис. 8) можно продолжить до бесконечности. Каждому способу реализации системы ставят в соответствие два числа $(q_\alpha; c_\alpha)$, где α - совокупность индексов. Для выбора оптимального варианта, введя оценочные функции $m_\alpha(q_\alpha; c_\alpha)$, предлагается использовать метод ветвей и границ. В частности, в качестве оценочной функции могут использоваться непосредственно $(q_\alpha; c_\alpha)$. Тогда задача сводится к определению множества недоминируемых (оптимальных по Парето) вариантов реализации системы с последующим выбором единственного варианта с привлечением дополнительных критериев.

Отметим, что каждому из вариантов состава системы будет соответствовать структура, описанная при рассмотрении методов выбора напряженных вариантов систем. Анализ этой структуры позволяет получить величины $(q_\alpha; c_\alpha)$ и решать задачи максимизации надежности при заданном и ограниченном финансировании и т. д.

Дальнейшее развитие предложенных подходов к анализу надежности выполнения НТП требует рассмотрения задач оперативного управления (корректировки) реализацией программ, т.к. в процессе функционирования система из-за отказов будет терять уровень ФИ. Перераспределение ресурсов в режиме реального времени на основе анализа текущей ситуации и другие мероприятия по повышению надежности выполнения программы, несомненно, приведут к более эффективному использованию ресурсов для решения поставленных научно-технических и народнохозяйственных задач.

2.2. Механизмы страхования в системах управления проектами

Изменения принципов финансирования проектов, связанные с переходом российской экономики к рыночным отношениям, вызывают необходимость разработки механизмов управления НТП, направленных на более эффективное и надежное вложение ресурсов и улучшение социальной защищенности кадров. Наряду с механизмами стимулирования и оперативного управления (корректировки), рассматриваемыми в данной работе, эту же задачу решают и механизмы страхования, позволяющие, с одной стороны, обеспечить некоторые гарантии отдачи на вложенные средства, а с другой - защитить научных работников от возможных потерь в случае возникновения неблагоприятных ситуаций.

В условиях плановой экономики научные коллективы практически не несли никакой ответственности за результаты своей деятельности, т.е. находясь на бюджетном финансировании, твердо знали, что в случае невыполнения обязательств государство возьмет на себя решение связанных с этим проблем (по крайней мере, финансовых). В условиях рынка, когда большинство научных учреждений работает в условиях хозрасчета и частичного самофинансирования, на первый план выходят задачи построения механизмов управления проектами, обеспечивающих хотя бы минимальную защищенность исполнителей от потерь, вызванных действием внешних случайных факторов.

Рассмотрим следующую модель, описывающую деятельность научного коллектива при реализации соответствующего направления програмы (проекта). Исполнитель (И) предпринимает некоторые действия y, принадлежащие множеству допустимых действий A. Результатом действия И является величина z ($z \in A_0$, где A_0 - множество возможных результатов). В качестве такого показателя может выступать степень выполнения програмы, оценка ее эффективности и т.д. В общем случае результат деятельности исполнителя z зависит как от его действия y, так и от неопределенных или случайных факторов, т.е. $z = z(z, \theta)$, где θ - случайная величина ("состояние природы"), определенная на множестве Ω. Пусть целевая функция исполнителя имеет вид:

$$f(z,y) = h(y) - c(z) \quad , \qquad (2.11)$$

где $h(y)$ - ожидаемый доход от действия y, измеряемый в единицах полезности. В общем случае затраты И складываются из его собственных затрат (усилий) по достижению результата z и штрафов (или премий) за результаты деятольности, взымаемых контролирующим органом (аудиторской компанией или органом, финансирующим разработки). В большинстве случаев, особенно в области фундаментальных исследований, вряд ли можно говорить о каких-либо гарантиях выполнения програмы. Учитываемая нами неопределенность позволяет описать риск такого невыполнения. В случае срыва (полного невыполнения заданий) накладываемые на И штрафы могут оказаться достаточно велики, что приводит его к стемлению застраховаться от подобных неблагоприятных случаев. В качестве страховщика (С) может выступать как орган, финансирующий разработки (заинтересованность его в страховании очевидна, т.к. он, фактически, сам в этом случае страхует собственные инвестиции), причем такое страхование может быть обязательным, так и государственные или частные страховые компании или страховые компании, образованные самими исполнителями програмы. Последний случай соответствует взаимному страхованию и имеет наименьшую коммерческую направленность (меньшие нагрузки к нетто-ставкам и т.д.).

Примем, что исполнителю известно распределение вероятностей $\rho(\theta)$, которое совместно с производственной функцией $z(\cdot)$ порождает параметрическое семейство распределений $p(z, y)$ - вероятность реализации результата z при действии И y. Если И участвует в страховании, то его целевая функция (2.11) изменяется с учетом внесения страховых взносов и получения страхового возмещения и принимает следующий вид:

$$f(z,y) = (1-\alpha)\ h(y) - c(z) + u(\ \sigma(z)\ ), \qquad (2.12)$$

где α - процентная ставка отчислений в страховой фонд (страховая ставка), $\sigma(z)$ - функция страхового возмещения, т. е. зависимость страховых выплат от результатов деятельности И, $u(\cdot)$ - функция полезности.

Будем считать, что целевая функция С имеет вид:

$$\Phi(z,y) = H(\ \alpha\ h(y)\ ) - \sigma(z)\ , \qquad (2.13)$$

где $H(\cdot)$ - функция полезности С. Следует отметить, что введение функций полезности в целевых функциях (2.12) и (2.13) обусловлено двумя причинами. Во-первых, это - необходимость приведения всех компонент к единым единицам измерения для возможности их аддитивного учета. И, во-вторых, необходимость учета "эффекта времени", так как разные слагаемые в выражениях (2.12)-(2.13) "реализуются" в разные моменты времени. Для более подробного рассмотрения этого эффекта проанализируем порядок функционирования системы.

В начале периода функционирования (месяц, квартал, год и т.д.) И заключает страховой контракт с С и выплачивает ему $\alpha\ h(y)$, где $h(y)$, к примеру, полученное финансирование. Затраты $c(z)$ реализуются в течение всего периода функционирования, а страховые компенсации производятся по результатам z деятельности И за рассматриваемый период. Для решения задач с использованием целевых функций, аддитивно содержащих перечисленные компоненты, необходим пересчитать их к единому моменту времени (таким пересчетом может быть введение дисконтирования).

Будем считать, что и И, и С заинтересованы выбором своих стратегий ($\sigma \in M$ и $\alpha \in [0,1]$ - стратегия С, $y \in A$ - стратегия И) максимизировать ожидаемые значения своих целевых функций. При этом предполагается, что и И, и С одинаково осведомлены о целевых функциях друг друга и распределении р. Таким образом, задача синтеза оптимального страхового контракта имеет вид:

$$E\phi = H(\alpha h(y^*)) - \int_{A_0} \sigma(z) p(z,y^*) dz \to \max_{\substack{\sigma \in M \\ \alpha \in [0,1]}} \qquad (2.14)$$

$$Ef = (1-\alpha) h(y) - \tilde{c}(y) + \int_{A_0} u(\sigma(z)) p(z,y) dz \to \max_{y \in A} \qquad (2.15)$$

$$Ef \geq \bar{U}\,, \qquad (2.16)$$

где М - класс допустимых функций страхового возмещения, $\bar{U}$ - минимальный гарантированный уровень полезности, обеспечиваемый И при участии в данном контракте, а $\tilde{c}(y) = Ec(z)$.

Условия (2.14)-(2.16) означают, что С выбором страховой ставки и функции страхового возмещения стремится максимизировать ожидаемое значение своей целевой функции, при условии, что действие у , выбираемое И, максимизирует его ожидаемую полезность при заданной функции $\sigma(\cdot)$.

Величина $\bar{U}$ может интерпретироваться как уровень полезности , который может быть получен И, где-нибудь еще, например, от заключения контракта с другой страховой компанией. Ниже мы будем рассматривать методы решения именно задачи (2.14)-(2.16), однако отметим, что возможны и другие постановки. Условие (2.16), к примеру, может быть заменено или дополнено условием $E\phi \geq \bar{V}$ с аналогичной содержательной интерпретацией и т.д.

Относительно введенных функций и допустимых множеств сделаем следующие предположения. А и A_0 - компакты в $\mathbb{R}_1$; М - множество конечных функций, определенных на A_0 и имеющих конечное число скачков первого рода; $p(\cdot)$; $h(\cdot)$ и $c(\cdot)$ - дважды непрерывно дифференцируемые функции своих переменных $h(\cdot)$ - строго вогнутая и $c(\cdot)$ - выпуклая функция; $H(\alpha x) \geq \alpha H(x)$, $H(\cdot)$ - дважды непрерывно дифференцируемая монотонно возрастающая функция и, наконец, $u(\cdot)$ - дважды непрерывно дифференцируемая, возрастающая и строго вогнутая функция.

Определение. Оптимальным страховым контрактом при заданных целевых функциях и допустимых множествах называется набор : $\{ \alpha^*;\ \sigma^*(z);\ y^* \}$, являющийся решением задачи (2.14) -(2.16).

Прежде чем перейти к описанию методов решения задачи (2.14)- (2.16) рассмотрим упрощенную разновидность общей модели.

При описании общей модели мы рассматривали случай, в котором С наблюдает лишь результат деятельности И и страховое возмещение зависит только от z. Рассмотрим теперь ситуацию, в которой С имеет возможность наблюдать непосредственно действия исполнителя. При этом практически "исчезают" все случайные возмущения и получается следующая детерминированная задача:

$$H(\alpha\, h(y^*)) - s(y^*) \to \max_{\substack{s\in M' \\ \alpha\in[0,1]}} \tag{2.17}$$

$$y^* = \arg\max_{y\in A} \{ (1-\alpha)\, h(y) - \tilde{c}(y) + u(s(y)) \tag{2.18}$$

$$(1-\alpha)\, h(y^*) - \tilde{c}(y^*) + u(s(y^*)) \ge \bar{U} \tag{2.19}$$

Решение задачи (2.17) -(2.19) дается следующей теоремой.

Теорема 6. Страховой контракт, определяемый условиями:

$$s(y)=\begin{cases} u^{-1}[\ \bar{U} + \tilde{c}(y^*) - (1-\alpha(y^*))\, h(y^*)\ ], & y = y^* \\ \min\limits_{s\in M'} f(y, s(y)), & y\ne y^* \end{cases} \tag{2.20}$$

$$y^*=\arg\max_{y\in A}\{H(\alpha(y)h(y))-u^{-1}[\bar{U}+\tilde{c}(y^*)-(1-\alpha(y^*))h(y^*)]\} \tag{2.21}$$

$$\alpha(y) :\ (u^{-1})'\,[\ \bar{U} + \tilde{c}(y^*) - (1-\alpha(y^*))\, h(y^*)] = 1 \tag{2.22}$$

оптимален в смысле (2.17)-(2.19).

Доказательство. Очевидно (2.20) удовлетворяет (2.19) в точке y^* [4] (подразумевается, что $\bar{U}$ таково, что $\exists y$: неравенство $Ef(y)<Ef(y^*)$ выполнено), (2.22) - условие того, что y^* - стационарная точка Ef , а (2.21) - условие того, что действия y^* - оптимально с точки зрения страхователя. Теорема доказана.

Следствие. Если функции $H(\cdot)$ и $u(\cdot)$ - линейны, то решение задачи (2.17)-(2.19) неоднозначно.

Доказательство этого утверждения проводится непосредственной подстановкой и останавливаться на ней мы не будем. Получающаяся неоднозначность, однако, не является неожиданной. Так как и С, и И имеют линейные функции полезности, следовательно они нейтральны к риску. Т.е. страхование для них теряет смысл - для них безразлично страховаться или нет и на какую сумму.

Связь между описанным, в данном разделе случаем наблюдаемых действий И и общей моделью для задач теории контрактов можно найти в [9]. Останавливаться более подробно на задачах типа (2.17)-(2.19) мы не будем так как, чаще всего, в рамках рассматриваемой модели контрактов по страхованию результаты деятельности научных коллективов, как правило, не наблюдаются. Поэтому перейдем к описанию методов решения исходной задачи.

Задача (2.14)-(2.16) является обобщением классической задачи теории контрактов [2]. К сожалению, на сегодняшний день общих методов решения не существует. Поэтому рассмотрим ее дискретный аналог. Пусть $A = \{y_1 .. y_n\}$ - конечное множество возможных действий (для простоты изложения мы положим Card A=Card A_0), $\alpha \in L = \{ \alpha_1 .. \alpha_m \}$ - конечное множество возможных значений страховых ставок. Задача (2.14)-(2.16) примет, в рамках введенных обозначений, следующий вид:

$$H(\alpha h_{i*}) - \sum_{j=1}^{n} \sigma_j p_{i*j} \to \max_{\substack{\alpha \in L \\ \{\sigma_j\} \in M}} \qquad (2.23)$$

$$(1-\alpha)\, h_i \geq \tilde{c}_i + \sum_{j=1}^{n} u(\sigma_j) p_{ij} \to \max_{i=\overline{1,n}} \qquad (2.24)$$

$$(1-\alpha)\ h_{i*} - \tilde{c}_{i*} + \sum_{j=1}^{n} u(\sigma_j) p_{i*j} \geq \bar{U} \qquad (2.25)$$

Разобьем решение задачи на три этапа.

1. Первый этап заключается в выборе $\{\sigma_j\}$, максимизирующем ожидаемые страховые выплаты и реализующие действие y_k при фиксированной страховой ставке . Обозначив $\sigma_j = u^{-1}(q_j)$, получим следующую задачу:

$$\sum_{j=1}^{n} u^{-1}(q_j(y_k, \alpha_i)) p_{kj} \to \min_{q_j \in M'} \qquad (2.26)$$

$$\sum_{j=1}^{n} q_j(y_k, \alpha_i)(p_{kj} - p_{ij}) + (1-\alpha_i)(h_k - h_i) - (\tilde{c}_k - \tilde{c}_i) \geq 0 \qquad (2.27)$$

$$\sum_{j=1}^{n} q_j(y_k, \alpha_i) p_{kj} + (1-\alpha_i) h_k - \tilde{c}_k \geq \bar{U} \qquad (2.28)$$

Т. е. С выбором $\{q_j\}$ минимизирует ожидаемые выплаты исполнителю при условии, что набор $\{q_j\}$ реализует действие y_k и обеспечивает И гарантированный уровень полезности $\bar{U}$ при выборе действия y_k .

Задача (2.26)-(2.28) - задача выпуклого программирования т. к. $u(\cdot)$ - вогнута, то $u^{-1}(\cdot)$ - выпукла, следовательно (2.26) выпукло), т. е. решается задача минимизации выпуклой функции (2.26) на множестве, заданном системой линейных ограничений (2.27), которое тоже выпукло. Отметим, что "линеаризация" ограничений была произведена переходом к функции, обратной функции полезности исполнителя.

Теорема 7. Если множество ограничений (2.27)-(2.28) непусто, то существует единственное решение задачи (2.26)-(2.28), характеризуемое следующими условиями:

$$(u^{-1})'(q_j(y_k, \alpha_i)) = \lambda^* - \sum_{i=1}^{n} \beta_i \frac{p_{ij}}{p_{ki}}, \quad j = \overline{1, n} \qquad (2.29)$$

$$\beta_i\Big[\sum_{j=1}^{n} q_j(y_k,\alpha_i)\,(p_{kj}-p_{ij}) + (1-\alpha_i)\,(h_k-h_i) -$$

$$-(\tilde c_k-\tilde c_i)\Big] = 0 \quad i=\overline{1,n}\,, \qquad (2.30)$$

где λ^* и $\{\beta_i\}$ - некоторые константы.

Доказательство. Ограниченность решения на замкнутом допустимом множестве доказывается аналогично соответствующему результату утверждения 1 [9].

Выпуклость целевой функции и линейность ограничений позволяет выписать условия Куна-Таккера, являющиеся необходимыми и достаточными условиями оптимальности страхового контракта:

$\exists\ \lambda,\ \{\beta_i\}$ такие, что выполнено :

$$(u^{-1})'\, q_j p_{kj} = \lambda p_{kj} - \sum_{i=1}^{n}\beta_i\,(p_{kj}-p_{ij}),\quad j=\overline{1,n} \qquad (2.31)$$

и (2.30).

Обозначая $\lambda^* = \lambda - \sum_{i=1}^{n}\beta_i$, из (2.31) получим (2.29). Теорема доказана.

2. На втором этапе для фиксированного k выберем $\alpha_i^*(y_k)$ из следующего условия:

$$\alpha_i^*(y_k) \in \operatorname*{Arg\,max}_{\alpha_i\in L}\ \Big\{ H(\alpha_i h(y_k)) - \sum_{j=1}^{n}\sigma_k p_{kj} \Big\}, \qquad (2.32)$$

где $\sigma_k(\alpha_i, y_k)$ - результат решения задачи (2.26)-(2.28) на первом этапе.

3. И, наконец, на третьем этапе выбирается оптимальное действие исполнителя:

$$k^* \in \operatorname*{Arg\,max}_{k=\overline{1,n}}\ \Big\{ H(\alpha_{i*} h(y_k)) - \sum_{j=1}^{n}\sigma_k p_{kj} \Big\} \qquad (2.33)$$

Введение принципа благожелательности позволяет производить выбор из множеств (2.33) и (2.34) однозначно.

Таким образом, мы построили алгоритм решения задачи синтеза оптимального страхового контракта в системе с одним исполнителем, заключающийся в следующем: при фиксированном действии И и фиксированном значении страховой ставки ищется минимальная система страхования, реализующая это действие. Далее, перебором по возможным значениям страховых ставок и действиям И, определяются оптимальные значения α^* и k^*.

Рассмотрим обобщение описанного выше механизма страхования на системы, состоящие из большого числа элементов.

Необходимость рассмотрения страховых контрактов, в которых участвует несколько (в принципе, любое конечное число) страхователей может быть обоснована следующими рассуждениями.

Во-первых, страховой случай является недетерминированной величиной и даже при известном распределении вероятностей, несмотря на использование в рассматриваемых моделях ожидаемых значений целевых функций, вероятность разорения страховщика при страховании одного исполнителя, как правило, выше, чем при страховании многих. Увеличение стабильности страхового портфеля с ростом числа страхователей у одного и того же страховщика - одно из основных свойств страховых контрактов, на котором, фактически, основано все страховое дело [7]. Здесь же отметим, что общая модель может легко быть модифицирована для описания механизмов перестрахования. В этом случае страховщик становится страхователем и страхует у другого страховщика результаты своей деятельности.

Вторым доводом в пользу рассмотрения многоэлементных задач является специфика изучаемых явлений. При работе над различными направлениями одной и той же програмы результаты деятельности научных коллективов, как правило, сильно взаимосвязаны. Так, к примеру, срыв одного из направления програмы явно не улучшит показателей по другим направлениям. Поэтому рассмотрим страховые контракты для системы с зависимыми элементами.

Пусть имеются m ($m \geq 2$) исполнителей (к примеру, коллективов, работающих в рамках одного из направлений программы. Обозначим z_j^l - результат z_l l-го исполнителя. Распределение вероятностей примет вид: $p_j^l(y_1 .. y_m)$ - вероятность результата z_j^l при действиях y_1 - первого исполнителя, y_2 - второго и т.д. Т.е., в общем случае, будем считать, что результат деятельности l-го исполнителя, как и его доход, зависит как от его собственных действий, так и от действий других исполнителей. Задача синтеза оптимальности страхового контракта примет вид:

$$H\Big(\sum_{l=1}^{m} \alpha_l h_l(y_1 .. y_m)\Big) - \sum_{l=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} p_j^l(y_1 .. y_m)\sigma_j^l \to \max_{\substack{^l\{\sigma_j\}\in M_l \\ \{\alpha_l\}\in L}} \qquad (2.34)$$

$$(1-\alpha_l)h_l(y_1 .. y_m) - \bar{c}_l(y_l) + \sum_{j=1}^{n} p_j^l(y_1 .. y_m)u_l(\sigma_j^l) \to \max_{l=\overline{1,n}} \qquad (2.35)$$

$$Ef_l \geq \bar{U}_l \qquad l=\overline{1,m}. \qquad (2.36)$$

В этом случае оптимальным страховым контрактом будет уже набор $\{ k_l, \{\sigma_j^l\}, \alpha_l, \}_{l=1}^{m}$. Содержательная интерпретация каждого из условий (2.35) и (2.36) аналогична приведенной для (2.15) и (2.16) соответственно. Система условий (2.35) означает, что $\{y_l^*\}$ - равновесие Нэша для исполнителей. Результаты теорем 6 и 7 и модели с наблюдаемыми действиями исполнителя, очевидно, непосредственно обобщаются для задач (2.34)-(2.36). Приводить их мы не будем в силу их чрезвычайной громоздкости. Также, как и одноэлементная модель, задача (2.34)-(2.36) решается методом, описанным в предыдущем разделе; лишь с тем изменением, что на первом и втором этапах ее решения параметризация (а, соответственно, на третьем - перебор) ведется по всевозможным комбинациям действий исполнителей.

Рассмотрим, насколько выгодно для страховщика увеличение числа исполнителей. Для простоты возьмем систему с однородными элементами (элементы называются однородными если все их характеристики независимы и попарно совпадают). В этом случае справедлива следующая

Теорема 8. С увеличением числа однородных исполнителей при фиксированных страховых ставках ожидаемая полезность страховщика возрастает.

Замечание. Теорема 8 допускает другую (эквивалентную) формулировку: при фиксированной ожидаемой полезности страховщика с ростом числа однородных страхователей величина страховой ставки уменьшается.

Доказательство. Для одного страхователя целевая функция С имеет вид:

$$\Phi_1 = H(\ \alpha_1\ h(y^*)\ )\ -\ \sum_{j=1}^{n} p_j(y)u^{-1}(q_j)\ , \tag{2.37}$$

а для m страхователей, соответственно:

$$\Phi_1 = H(\ m\ \alpha_2\ h(y^*)\ )\ -\ m\sum_{j=1}^{n} p_j(y)u^{-1}(q_j)\ , \tag{2.38}$$

Домножим (2.37) на m и вычтем из (2.38). Получим:

$$\Delta\Phi = \Phi_2 - m\Phi_1 = H(m\alpha_2 h(y^*)) - m\ H(\ \alpha_1\ h(y^*)\ ) \tag{2.39}$$

Пусть $\Delta\Phi = 0$, тогда в силу введенных выше предположений о свойствах функции $H(\cdot)$ выполнено $\alpha_2 < \alpha_1$. Теорема доказана.

Результат, полученный в теореме 8 справедлив лишь для систем с однородными элементами. Получение более общих результатов требует привлечения более тонких оценок и, в частности, исследования взаимозависимости элементов в системах с повышенной надежностью (см. описание функционально избыточных сисем в соответствующем разделе настоящей работы). Останавливатся на такого рода обобщениях мы не будем. Ограничимся лишь описанием возможных направлений дальнейшего развития такого рода моделей.

Пример 11. Рассмотрим систему с одним исполнителем, у которого имеется возможность выбора одного из двух действий: y_1- "работать плохо" и y_2 - "работать хорошо". При выборе действия y_1 с вероятностью 1 наступает событие - z_1 - "срыв программы", за который И должен выплатить штраф . Если же выбирается действие y_2, то событие z_1 реализуется с вероятностью p, а событие z_2 - "программа выполнена" - соответственно, с вероятностью (1-p). В этом случае И не платит штрафы (и не получает страховки), но имеет затраты c. Для простоты будем считать, что функции $h(\cdot)$ и $u(\cdot)$ линейные. Тогда:

1. Если C "стимулирует" выбор y_1, то:

$$\sigma_1 = \max\{\bar{U}+\chi-(1-\alpha_1)h_1,\ \frac{(1-\alpha_1)(h_2-h_1)+\chi-c}{(1-p)}\} \qquad (2.40)$$

2. Если C "стимулирует" выбор y_2, то:

$$\sigma_2 = \max\{\frac{\bar{U}+c-(1-\alpha_2)h_2}{p},\ \frac{(1-\alpha_2)(h_2-h_1)+\chi-c}{(1-p)}\} \qquad (2.41)$$

Из анализа выражения (2.40)-(2.41) можно сделать важный содержательный (впрочем важный и с точки зрения математики) вывод о том, что в зависимости от конкретных значений параметров целевых функций элементов системы существенным может быть как ограничение "активности" исполнителя, так и ограничение, гарантирующее ему некоторый уровень ожидаемой полезности. Т.е. априори нельзя сказать, что в исходной задаче решение определяется ограничениями либо только типа (2.15), либо только типа (2.16).

На рисунках 9 и 10 приведены эскизы графиков зависимостей (2.40) и (2.41).

Области допустимых значений $\sigma_1(\alpha_1)$ и $\sigma_2(\alpha_2)$ на рисунках 9 и 10 заштрихованы. Как видно из рисунков, положение точек A_1, B_1, E_1, B_2, E_2 не зависят от величины p. Так как в нашей модели выбирается минимальная система стимулирования, то решение, очевидно, должно принадлежать отрезкам G_iC_i и C_iF_i ($i = 1,2$), а в большинстве случаев будет определяться точками C_1 или C_2. Рассмотрим, что будет происходить, если увеличится величина p. A_1F_1 останется неподвижной, G_1 сместится вверх, следовательно C_1 сместится по прямой A_1F_1 вправо и вверх; A_2F_2 поворачивается вокруг B_2, причем C_2 смещается по G_2D_2 вправо и вниз, а по A_2F_2 вправо и вверх. Во всех ситуациях мы видим, что точка C_i смещается вправо с ростом p. А это означает, что большим значением вероятности наступления страхового случая соответствуют большие величины страховых ставок, что вполне соответствует экономической реальности. Т. е. поведение нашей модели совпадает в этом смысле с поведением реальных экономических систем и вполне согласуется с принятой системой страхования.

Завершая описание механизмов страхования в системах управления проектами, отметим, что проведенный анализ позволил сделать следующие выводы: решение задачи существует и единственно в достаточно широком диапазоне значений параметров; помимо этого, решение обладает вполне соответствующими реальному опыту свойствами: с увеличением числа страхователей происходит снижение страховых ставок, с ростом вероятности наступления страховых случаев происходит их увеличение. Анализ вычислительной сложности решаемых задач (особенно многоэлементных) свидетельствует о целесообразности использования в каждом конкретном случае более частных моделей, "настраиваемых" на специфику данной системы. Приведенный алгоритм решения общей задачи синтеза оптимальных страховых контрактов может быть использован при создании новых и совершенствовании существующих систем управления процессом выполнения научно-технических программ.

2.3. Задачи оперативного управления процессом выполнения НТП

В предыдущих разделах были рассмотрены механизмы формирования приоритетных направлений, удовлетворяющие тем или иным требованиям (минимальность затрат, обеспечение заданной надежности и т. д.) и механизмы распределения финансирования между направлениями, проектами и т. д. Перейдем теперь к описанию задач, возникающих из необходимости обеспечения выполнения требований к результатам программы, т. е. механизмам управления (контроля) процессом выполнения программы. Существует большое количество подходов к построению такого рода механизмов. Рассмотрим последовательно некоторые из них.

Первый подход заключается в решении задачи синтеза оптимальной функции штрафов (стимулирования), накладываемых на исполнителей по результатам выполнения программы, т.е. решение базовой задачи теории контрактов [2], [3]. Существенным достоинством такого подхода является то, что соответствующие задачи к настоящему времени исследованы достаточно глубоко. С другой стороны, процесс выполнения программы охватывает, как правило, значительный промежуток времени. Финансирование исполнителей ведется по периодам (год, квартал, месяц), а использование рассматриваемого подхода не дает возможности описывать столь "мелкие" по сравнению со сроком выполнения программы временные интервалы.

В этом случае не исключена, к примеру, и такая ситуация: на первых этапах реализации заданий выяснилось, что один из исполнителей не справляется со своими заданиями, что может привести в дальнейшем к срыву программы так как от результатов деятельности этого исполнителя зависят возможности работы других исполнителей. Казалось бы, следует найти адекватную замену отказавшему исполнителю, но финансирование уже распределено и для включения на каком-то этапе новых исполнителей придется заново решать задачу распределения ресурсов.

Вторым, более гибким подходом является следующий: для каждого из периодов функционирования определяются оптимальные функции штрафов, зависящие как от результатов текущего периода, так и от результатов предыдущих периодов. Рассмотрим соответствующую модель. Пусть число периодов равно двум. Обозначим (y_1, y_2) - действия исполнителя в первом и втором периодах соответственно, (z_1, z_2) - результаты этих действий (используемая терминология совпадает с терминологией, введеной при рассмотрении механизмов анализа надежности выполнения программ и механизмов страхования). Пусть $p_1(z_1, y_1)$ - вероятность результата z_1 при действии y_1 в первом периоде, $p_2(z_2|y_2, z_1)$ - вероятность результата z_2 при-действия y_2 исполнителя во втором периоде и результате первого периода - z_1 . Примем, что целевая функция управляющего органа и исполнителя имеют вид:

$$\phi = \Phi(y_1, y_2)$$

и

$$f = f(\sigma_1, \sigma_2, y_1, y_2),$$

соответственно, где - σ_1 и σ_2 - функция стимулирования. Тогда задача синтеза оптимальной функции стимулирования примет вид:

$$E\phi = \sum_{z_1, z_2} p_1(z_1, y_1) p_2(z_2 | y_2, z_1) \Phi(y_1, y_2) \to \max_{\sigma_1, \sigma_2 \in M} \quad (2.42)$$

$$Ef = \sum_{z_1, z_2} p_1(z_1, y_1) p_2(z_2 | y_2, z_1) f(y_1, y_2, \sigma_1, \sigma_2) \to \max_{\substack{y_i \in A_i \\ i=1,2}}, \quad (2.43)$$

где $\sigma_1(z_1)$- стимулирование исполнителя в первом периоде за результат z_1 , $\sigma_2(z_1, z_2)$ - стимулирование исполнителя во втором периоде за результат z_2 при условии, что в первом периоде результат был z_1 .

Методы решения задачи (2.42) - (2.43) хорошо известны [2]. Это задача, позволяющая синтезировать оптимальный контракт с памятью, когда стимулирование в текущем периоде зависит от результатов предыдущих периодов. Легко видеть, что приведенная выше постановка легко обобщается на случай любого конечного числа периодов. Существенным недостатком этого подхода является его вычислительная сложность. При числе возможных действий и числе результатов - n, и числе периодов - T, то в последнем периоде необходимо иметь n^T чисел $\sigma_{1..T}$. Если, к тому же, учесть рост сложности задачи с увеличением числа исполнителей, (см. страховые контракты), то станет понятно, что использование такого рода моделей будет эффективно лишь для системы с небольшим числом элементов, поведение которых рассматривается на малом числе периодов. И, также как и у первого подхода, в данном случае отсутствует возможность внесения определенных изменений в поцесс функционирования системы.

Третий, наиболее гибкий подход к управлению процессом выполнения научно-технических программ, является использование механизмов корректировки. Остановимся на них более подробно. В предыдущих разделах были описаны механизмы формирования приоритетных направлений, методы повышения надежности их выполнения путем введения оптимального уровня функциональной избыточности и выбора параметров механизма стимулирования. Пусть выбран набор исполнителей и определены объемы финансирования по периодам. Такое определение можно производить на основе использования механизмов распределения ресурсов (конкурсные механизмы, механизмы согласия) или использования контрактных механизмов (статических или динамических), описанных в данном разделе, или их упрощенных модификаций. Будем считать, что управляющему органу к моменту окончания периода t становятся известны результаты деятельности исполнителей и, помимо этого, путем организации обмена информацией управляющий орган получает от исполнителей оценки p_i^{t+1} - соответствующих вероятностных распределений. Вопрос о достоверности сообщаемой информации, т.е. неманипулируемости механизмов корректировки требует отдельного рассмотрения и останавливаться на этом вопросе мы не будем. Отметим, что этого свойства механизма можно добиться использованием механизмов открытого управления или использованием прямых, достаточно сильных, штрафов за искажение информации [4].

Зная оценки p_i^{t+1} и объем финансирования R_{t+1}, выделенный на период (t,t+1), управляющий орган решает следующую задачу (опуская индексы, соответствующие рассматриваемому периоду):

$$EQ(z_1 \ldots z_n) \to \max_{\{\sigma_1 \ldots \sigma_n\} \in M} \qquad (2.44)$$

$$Ef_i \to \max_{y_i \in A_i} \qquad i=\overline{1,n} \qquad (2.45)$$

т.е. выбором набора функций стимулирования для каждого исполнителя, управляющий орган стремится максимизировать ожидаемую надежность (2.44) реализации программы при условии, что выбираемые исполнителями действия максимизируют их ожидаемые полезности (2.45).

Следует более подробно остановится на описании величины Q. Взяв первоначально ФИ систему, не исключено, что к t+1 периоду она потеряет функциональную полноту и задачи (2.44) - (2.45) для этого периода вовсе не придется решать. В общем случае, число исполнителей n_t, вследствие функциональных отказов в предыдущих периодах может оказаться меньше их первоначального числа. Отметим, что отдельного рассмотрения требует и задача определения надежности функционально избыточной системы [8], состоящей из большого числа взаимозависимых элементов. В принципе, для максимизации надежности в процессе оперативного управления реализаций научно-технических программ необходимо решать задачу (2.44)-(2.45), добавив туда: бюджетное ограничение (см. соответствующую многоэлементную задачу в разделе, посвященном надежности исполнителей), "память о прошлых периодах" (см. задачу (2.42)-(2.43)) и алгоритм формирования (корректировки) состава исполнителей на будущие периоды. Вычислительная сложность такой модели будет чрезвычайно высока, что свидетельствует о необходимости дальнейшей разработки более эффективных алгоритмов для конкретных систем.

В задаче (2.44) - (2.45) определяется оптимальное стимулирование элементов. Такой подход подразумевает возможность как снижения финансирования "нерадивым" исполнителям, так и поощрение (по сравнению с первоначально определенным объемом финансирования) исполнителей, добросовестно выполнивших задания в прошедшем отчетном периоде. Более того, используя такой гибкий подход к управлению процессом реализации научно-технических программ, мы получаем возможность оперативного перераспределения средств, а также возможность изменения состава исполнителей (замены отказавших или "близких к отказу", вовлечения новых научных коллективов и т.д.), что, несомненно, приводит к повышению эффективности вложения средств и надежности выполнения программ.

Заключение

В препринте изложены методологические основы построения основных организационных механизмов управления развитием приоритетных направлений науки и техники, рассмотрен ряд конкретных моделей.

Естественно, описанные подходы не охватывают всего многообразия задач, возникающих в процессе управления формированием и реализацией научно-технических программ. Полученные результаты могут служить основой дальнейшего развития исследований в этой области.

Литература

1. Бурков В.Н, Грацианский Е.В., Еналеев А.К., Умрихина Е.В. Организационные механизмы управления научно-техническими программами.-М., 1993, Препринт/Институт проблем управления.
2. Бурков В.Н., Еналеев А.К., Новиков Д.А. Механизмы стимулирования в вероятностных моделях социально-экономических систем// А. и Т.- 1993.-N11.
3. Бурков В.Н., Еналеев А.К., Новиков Д.А. Вероятностная задача стимулирования//А. и Т.- 1993, -N12.
4. Бурков В.Н., Кондратьев В.В. Механизмы функционирования организационных систем. М.:Наука, 1981.
5. Большие системы: моделирование организационных механизмов/ В.Н.Бурков, Б.Данев, А.К.Еналеев и др., М.: Наука, 1989.
6. Глотов В.А., Павельев В.В. Векторная стратификация. М.:Наука, 1984.
7. Страховое дело/ Под ред. проф. Рейтмана Л.И., М.:Банковский и биржевой научно-консультационный центр, 1992.

8. Харитонов В. А. Основы теории живучести функционально-избыточных систем. С.-Пб., 1993, Препринт/СПИИ РАН.
9. Mookherjee D. Optimal incentive schemes with many agents//Rev. of Econ. St. -1986. - V. 53. - N176, pp. 739-754.
10. Pratt J. Risk aversion in the small and in the large//Econometrica. -1964. -V. 32. -N1, pp. 122-136.

Приложение

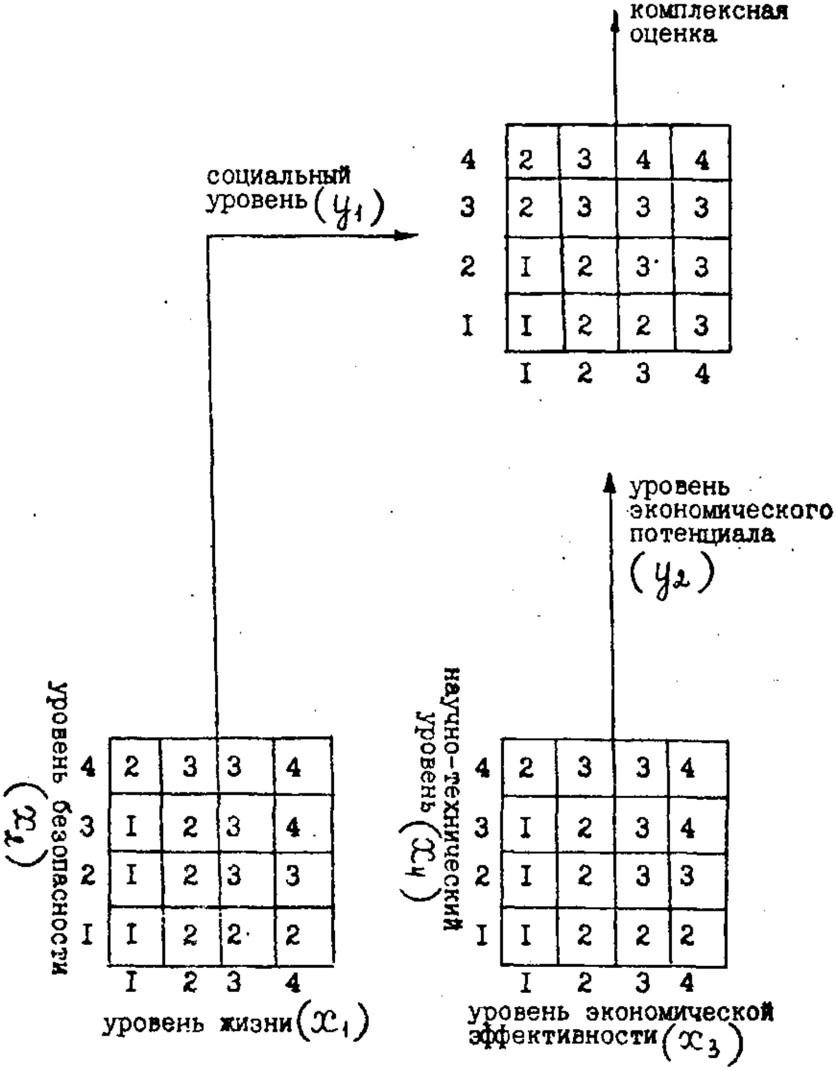

Рис.I. Дерево оценок вариантов развития.

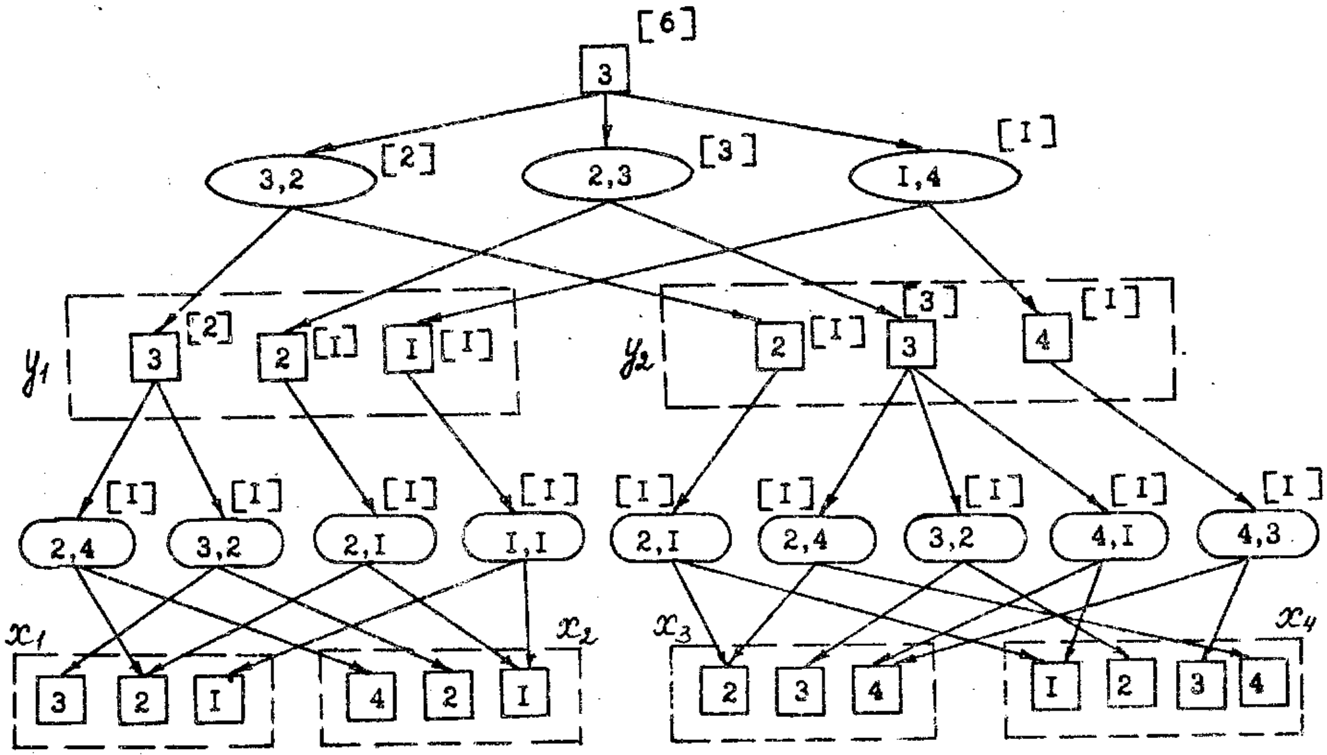

Рис. 2. Сеть максимально-напряженных вариантов.

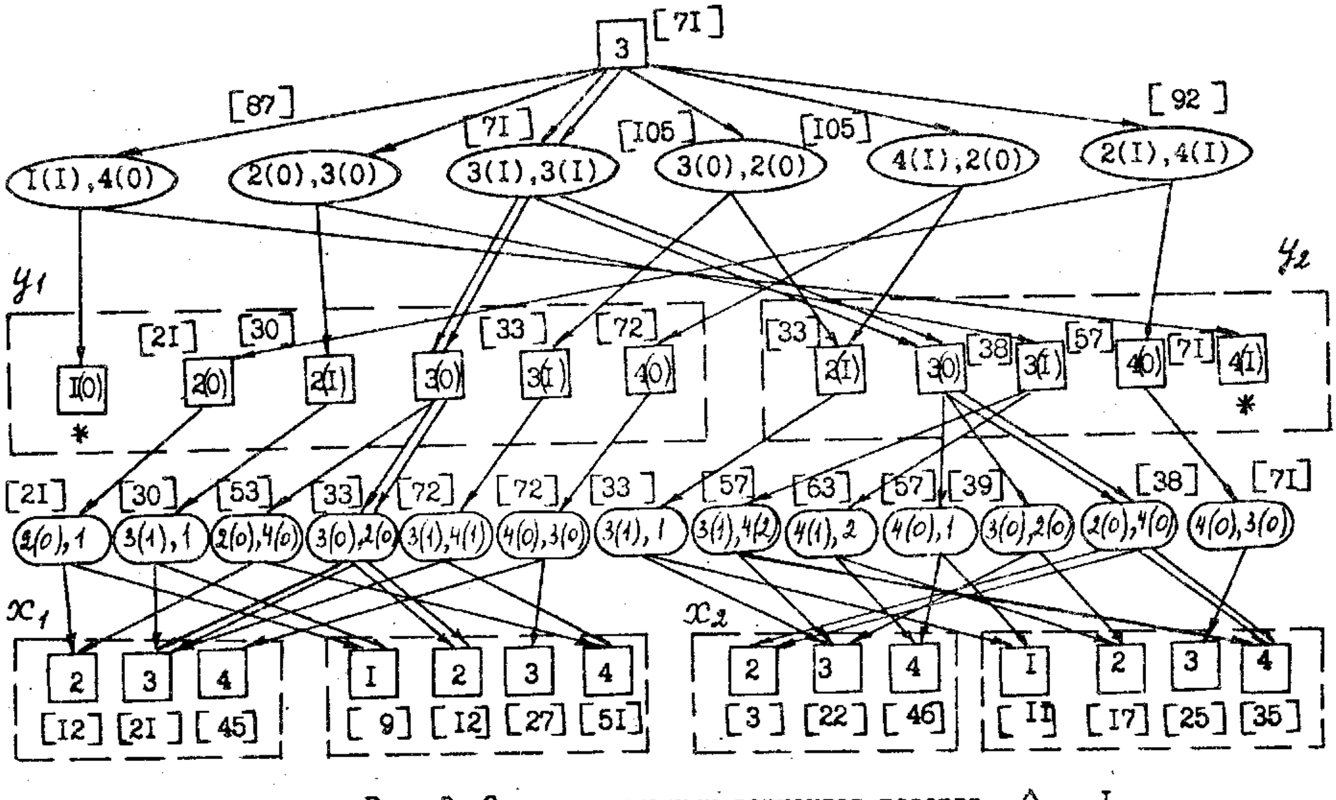

Рис. 3. Сеть напряженных вариантов резерва Δ = I.

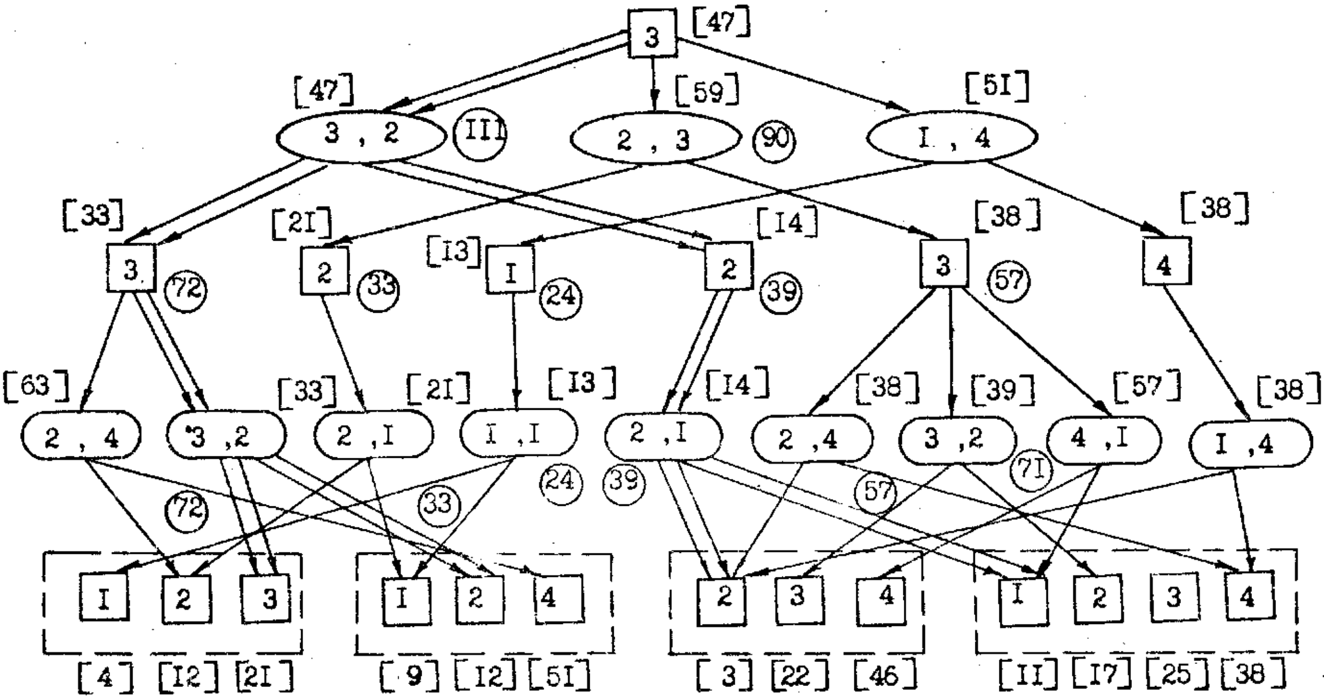

Рис. 4. Оптимальный максимально-напряженный вариант развития.

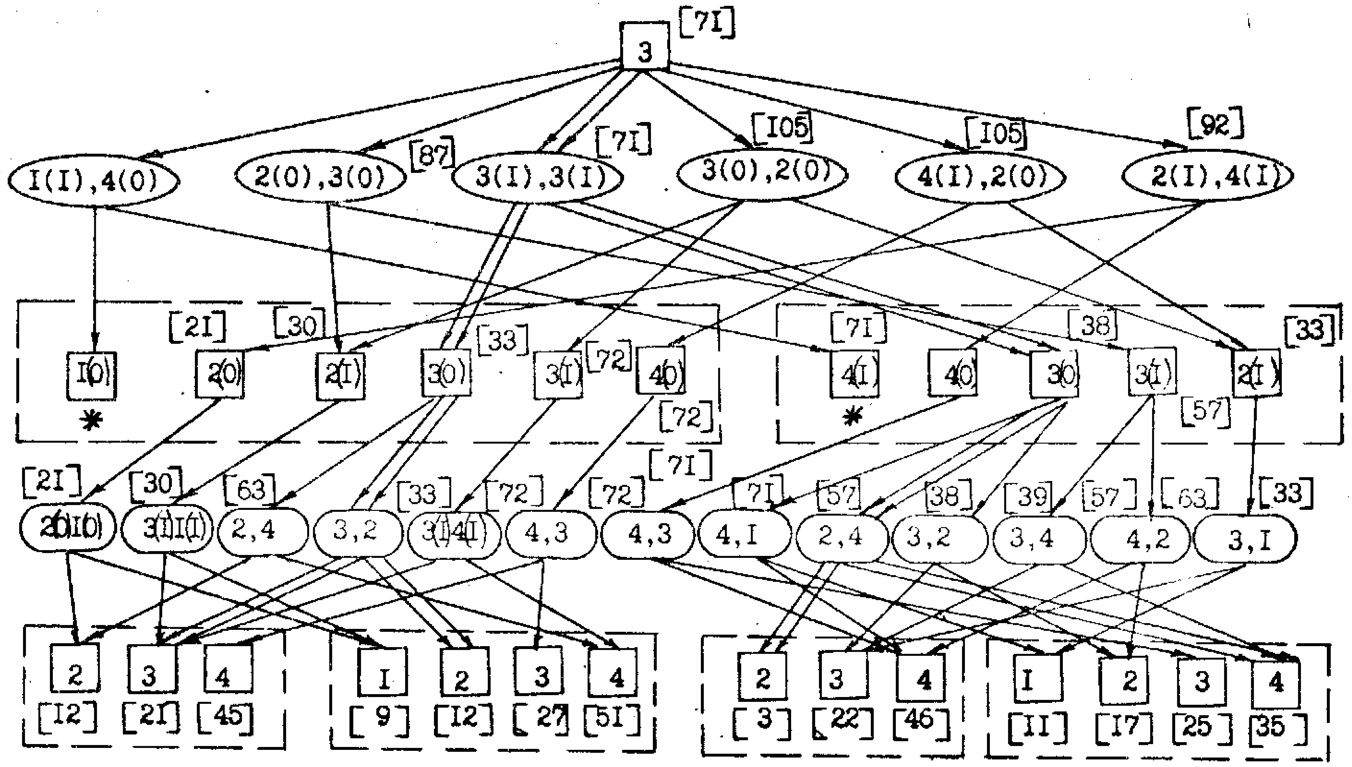

Рис. 5.

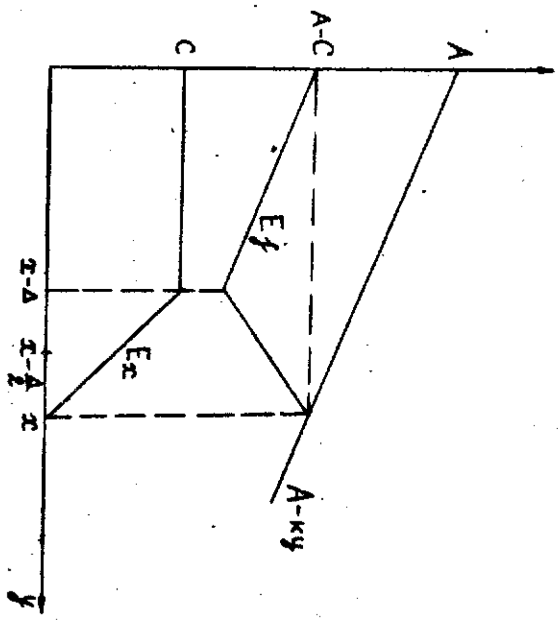

Рис. 6.

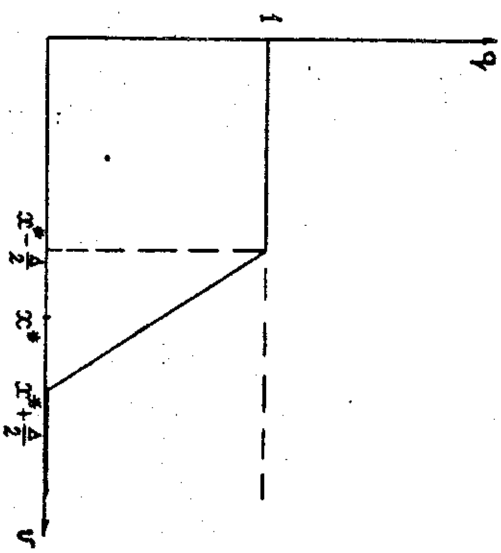

Рис. 7.

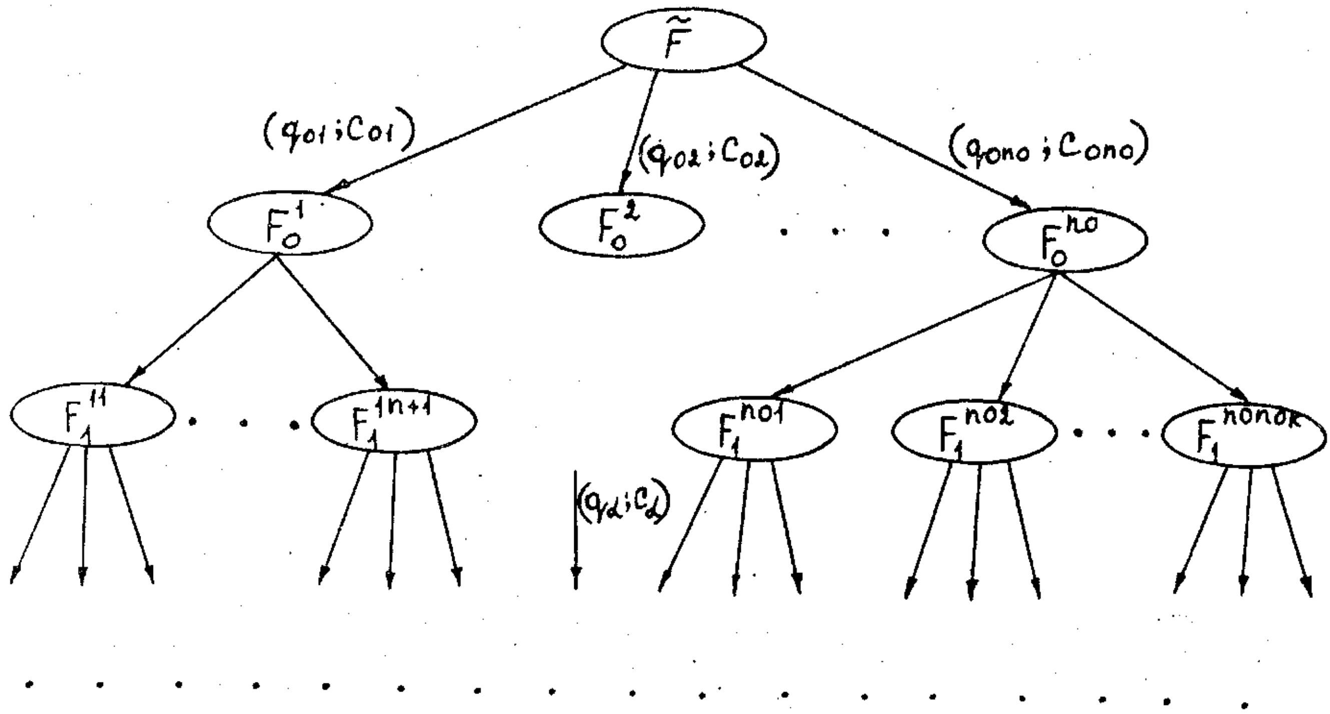

Рис. 8.

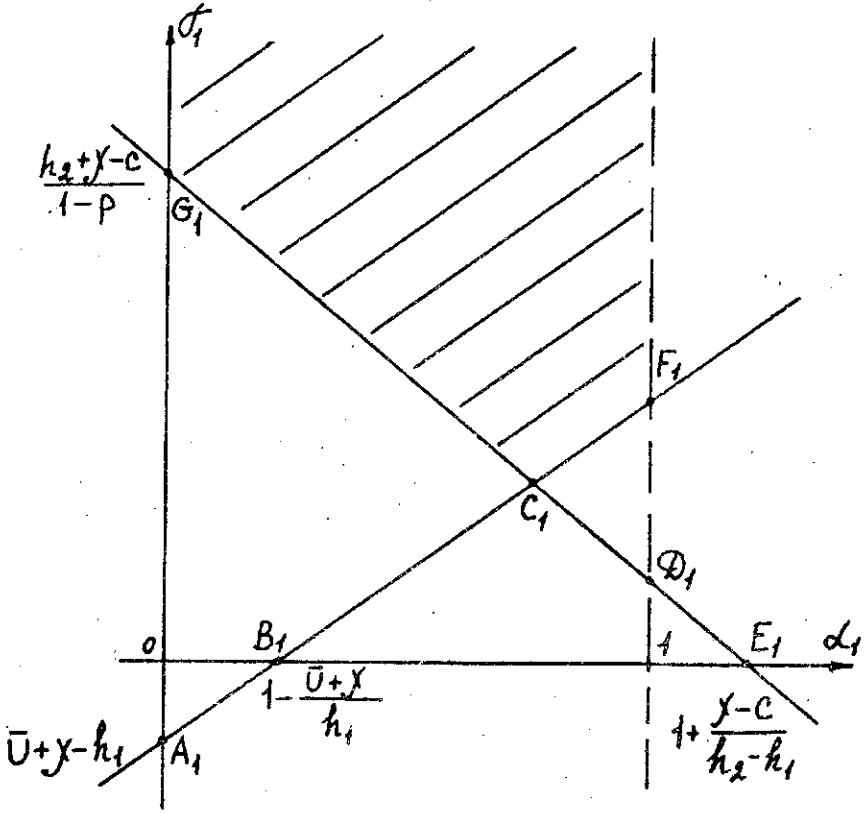
σ_1
$\frac{h_2+\gamma-c}{1-p}$
G_1
F_1
C_1
D_1
0
B_1
1
E_1
α_1
$1-\frac{\bar{U}+\gamma}{h_1}$
$1+\frac{\gamma-c}{h_2-h_1}$
$\bar{U}+\gamma-h_1$
A_1

Рис. 9.

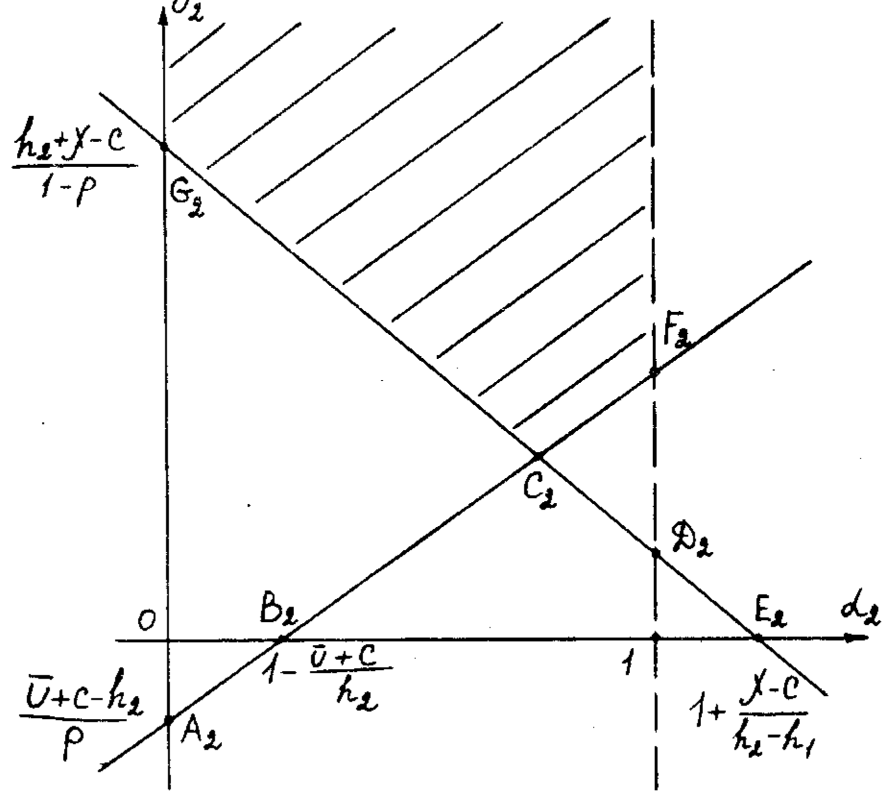
σ_2
$\frac{h_2+\gamma-c}{1-p}$
G_2
F_2
C_2
D_2
0
B_2
E_2
α_2
$1-\frac{\bar{U}+c}{h_2}$
1
$\frac{\bar{U}+c-h_2}{p}$
A_2
$1+\frac{\gamma-c}{h_2-h_1}$

Рис. IO.