

**В.Н. БУРКОВ
Д.А. НОВИКОВ**

КАК УПРАВЛЯТЬ ПРОЕКТАМИ

Серия «Информатизация России на пороге XXI века»

- Р** Формирование требований к проекту
и выбор вариантов
- Р** Формирование состава исполнителей
и распределение ресурса
- Р** Финансирование проекта
- Р** Стимулирование исполнителей
- Р** Оперативное управление

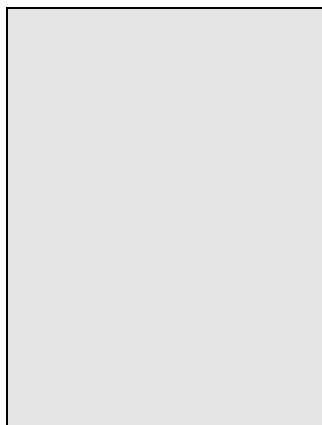


БУРКОВ
Владимир Николаевич

Доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией активных систем Института проблем управления РАН, действительный член РАЕН, лауреат Государственной премии СССР и премии Дж. фон-Неймана.

Более тридцати лет работает в области управления большими системами.

Вице-президент Российской ассоциации по управлению проектами и один из ведущих специалистов по управлению социально-экономическими системами, в том числе - по системам сетевого планирования и управления, а также - по анализу и синтезу организационных механизмов.



НОВИКОВ
Дмитрий Александрович

Кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории активных систем Института проблем управления РАН

Автор многих работ по теории управления социально-экономическими системами, в том числе - по механизмам стимулирования и моделированию механизмов управления организационными системами, функционирующими в условиях неопределенности.

В.Н. БУРКОВ
Д.А. НОВИКОВ

КАК УПРАВЛЯТЬ ПРОЕКТАМИ

Серия «Информатизация России на пороге XXI века»

СИНТЕГ— ГЕО
Москва — 1997

ББК 65.050.9(2)

Б 91

Научный редактор: к.т.н. **В.Л. Гуревич**

(Тел./факс: (095) 371-1316, E-mail: gur@mastak.sitek.ru)

Рецензенты: д.т.н., профессор, президент Российской Ассоциации Управления проектами СОВНЕТ, вице-президент Международной Ассоциации Управления проектами ИНТЕРНЕТ **В.И. Воропаев**

д.т.н., профессор, действительный член РАЕН, декан факультета управления и прикладной математики МФТИ **В.А. Ириков**

Бурков В.Н., Новиков Д.А.

Б 91 **Как управлять проектами:** Научно-практическое издание. — М.:

СИНТЕГ — ГЕО, 1997. — 188 с.

В течение последних нескольких десятилетий сформировалась новая научная дисциплина — управление проектами (Project Management) — раздел теории управления социально-экономическими системами, изучающий методы, формы, средства и т.д. наиболее эффективного и рационального управления изменениями. Значительную часть методологии управления проектами составляют механизмы управления, позволяющие отвечать на вопрос «как управлять проектами?». Однако эти проблемы практически не представлены в ранее опубликованных книгах.

Предлагаемая книга, опираясь на теоретические и прикладные исследования авторов и их коллег, позволяет составить целостное представление о всем комплексе механизмов, используемых на различных этапах жизненного цикла проекта, начиная с определения целей проекта и заканчивая оперативным управлением процессом его реализации.

Авторы книги — известные специалисты в области систем управления.

Книга ориентирована на руководителей предприятий и организаций, менеджеров проектов, а также представляет интерес для специалистов по теории управления социально-экономическими системами и может быть использована в качестве пособия как проект-менеджерами, так и студентами и аспирантами соответствующих специальностей ВУЗов.

ISBN 5-86639-029-9

© **Бурков В.Н., Новиков Д.А., 1997**

© **Гуревич В.Л. (предисловие), 1997**

© **ООО «НПО СИНТЕГ» (оригинал-макет), 1997**

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ НАУЧНОГО РЕДАКТОРА	5
ЛИТЕРАТУРА К ПРЕДИСЛОВИЮ НАУЧНОГО РЕДАКТОРА	29
ПРИЛОЖЕНИЕ К ПРЕДИСЛОВИЮ НАУЧНОГО РЕДАКТОРА	30
ВВЕДЕНИЕ	32
1. ФОРМИРОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К ПРОЕКТУ И ВЫБОР ВАРИАНТОВ	37
1.1. Формирование целей и задач	37
1.1.1. Активность поведения участников проекта и цели управления	37
1.1.2. Механизмы функционирования организационных систем	40
1.1.3. Механизмы комплексного оценивания	44
1.2. Выбор вариантов проекта	47
1.2.1. Согласование интересов и задачи управления проектами	47
1.2.2. Синтез оптимальных механизмов управления	49
1.2.3. Анализ вариантов проекта при использовании процедуры комплексного оценивания и выбор оптимальных вариантов	51
1.3. Активная экспертиза	58
1.3.1. Неманипулируемые механизмы экспертизы	58
1.3.2. Механизмы согласия	61
1.3.3. Многоканальные механизмы активной экспертизы	65
2. ФОРМИРОВАНИЕ СОСТАВА ИСПОЛНИТЕЛЕЙ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РЕСУРСА	71
2.1. Формирование состава исполнителей	71
2.1.1. Конкурсы исполнителей (тендеры)	72
2.1.2. Сложные конкурсы исполнителей	74
2.1.3. Надежность проекта	80
2.2. Распределение ресурса	86
2.2.1. Неманипулируемые механизмы распределения ресурса	87
2.2.2. Приоритетные механизмы	91
2.2.3. Конкурсные механизмы	93
2.2.4. Децентрализованные механизмы распределения ресурса	95
2.2.5. Механизмы распределения затрат	98
3. ФИНАНСИРОВАНИЕ ПРОЕКТА	103
3.1. Механизмы смешанного финансирования и кредитования	103
3.2. Механизмы страхования	110
3.3. Механизмы самокупаемости	125
3.4. Противозатратные механизмы	132
4. СТИМУЛИРОВАНИЕ ИСПОЛНИТЕЛЕЙ	136

4.1. Контрактные механизмы стимулирования	136
4.2. Стимулирование в условиях неопределенности	150
4.3. Децентрализованные механизмы стимулирования	163
5. ОПЕРАТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ	170
5.1. Пересоглашение контрактов	171
5.2. Механизмы оперативного управления риском	179
5.3. Механизмы опережающего самоконтроля	184
5.4. Компенсационные механизмы	185
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	189
ЛИТЕРАТУРА	190

ПРЕДИСЛОВИЕ НАУЧНОГО РЕДАКТОРА

*Есть у меня шестерка слуг,
Проворных, удалых.
И все, что вижу я вокруг, -
Все знаю я от них.*

*Они по знаку моему
Являются в нужде.
Зовут их: Как и Почему,
Кто, Что, Когда и Где.*

*Редьярд Киплинг
в переводе С. Маршака*

«Know How» - «Знать Как»

Книга, которую Вы держите в руках, касается всех и каждого: от президента страны до домашней хозяйки. Ведь каждого заботит одна и та же проблема: как достичь поставленной цели в заданные сроки, имея ограниченные ресурсы? Для домашней хозяйки так же важно наиболее рационально использовать бюджет семьи, как для президента - бюджет страны. Масштаб проблемы в данном случае не имеет принципиального значения.

Что же следует понимать под словом «проект» и почему так важно «знать как» его можно реализовать наилучшим образом? В предисловии мы постараемся ответить на эти вопросы.

До недавнего времени в отечественной практике термин «проект» обычно использовался преимущественно в технической сфере и с ним связывалось представление о совокупности документации по созданию каких-либо сложных разработок. Соответственно, разработка такой документации называется проектированием. На Западе для обозначения этого процесса используется термин - дизайн (designing), а понятие «проект» (project) трактуется более широко.

В Советском Союзе, осуществлявшем грандиозные проекты в различных областях деятельности, проектирование было выделено в ранг прикладной науки. В зависимости от соотношения доли науки и проектирования в каждой отрасли народного хозяйства страны функционировали: а) научно-исследовательские, б) научно-исследовательские и проектно-конструкторские и в) проектные институты. Фундаментальные исследования проводились в научно-исследовательских институтах Академии Наук СССР.

Автору настоящего предисловия после окончания института довелось пройти всю цепочку от практики к науке, поэтому он берет на себя смелость показать значение проектирования на личном опыте (это сделано с единственной целью - наиболее убедительно показать значение проектирования в общем комплексе выполнения взаимосвязанных работ по созданию сложных объектов народного хозяйства). После окончания Московского института стали и сплавов мне пришлось как молодому специалисту «по распределению» работать на металлургическом и машиностроительном заводах. Здесь постоянно внедрялись новые технологические процессы, которые разрабатывались отраслевыми проектными институтами. Затем была работа в Государственном институте по проектированию металлургических заводов (ГИПРОМЕЗ). Практически все крупнейшие металлургические заводы в Советском Союзе и многие зарубежные заводы построены по проектам ГИПРОМЕЗа. Проектирование, строительство, доводка в процессе эксплуатации, а затем и реконструкция металлургических предприятий осуществляются в течение длительного периода времени, требуют значительных затрат финансовых средств и материальных ресурсов и предъявляют высокие требования к квалификации специалистов-проектировщиков. В институте одновременно велось проектирование нескольких крупных металлургических объектов. В этом процессе участвовали не только различные подразделения института, но и большое количество научных, научно-исследовательских и проектных отечественных отраслевых институтов, НИИ АН СССР, а также зарубежные фирмы. Каждый проект возглавлялся главным инженером проекта - ГИПом (теперь он называется проект-менеджером). Поскольку жизненный цикл развития металлургического завода сопоставим со сроком жизни человека, то ГИП рос, набирался опыта и старился, в то время как завод превращался в металлургического гиганта.

Затем около тридцати лет мне довелось работать во Всесоюзном научно-исследовательском и проектно-конструкторском институте автоматизированного электропривода в промышленности, сельском хозяйстве и на транспорте (ВНИИэлектропривод) - головном институте Минэлектротехпрома. Здесь создавались системы комплексной автоматизации технологических и производственных процессов (АСУТП и АСУП) для прокатных станов, агрегатов и цехов с применением современных средств автоматики, управляющих ЭВМ и локальных компьютерных сетей. Одной из последних работ, выполненных там до развала СССР, была автоматизация цеха жести на Карагандинском металлургическом комбинате, ввод которого в эксплуатацию позволил в два раза увеличить в стране производство белой жести, необходимой для пищевой промышленности. В этом цехе впервые в Советском Союзе (и третьим в мире) был введен в эксплуатацию автоматизированный шестиклетьевой стан «бесконечной» прокатки жести. Естественно, что выполнение такого рода работ далеко выходило за рамки «чистого» проектирования и тесно переплеталось с научно-исследовательской деятельностью.

Наконец, после развала СССР, с одной стороны, негативные процессы в Казахстане привели к невозможности продолжения успешно начатых работ по созданию интегрированной информационно-управляющей системы цеха жести на

базе опто-волоконной сети, объединяющей несколько серверов и более пятидесяти персональных компьютеров по технологии «клиент-сервер», а с другой стороны, в России развал отраслевой науки привел к распаду до этого весьма успешно работающего ВНИИэлектропривода. Дальнейшая моя работа была связана с Российским научно-исследовательским институтом информационных технологий и автоматизации проектирования (РосНИИИТиАП) Министерства науки РФ и АО «АРГУССОФТ КОМПАНИ», где был выполнен большой проект по обследованию Администрации РАО «Газпром» как объекта создания отраслевой интегрированной информационно-управляющей системы (ОИИУС) газовой подотрасли топливно-энергетического комплекса (ТЭК) России.

Как видно из этого примера, практически любая научно-исследовательская и проектно-конструкторская деятельность связана с выполнением проектов. В последние годы понятие проекта распространилось и на другие сферы деятельности. Стали говорить о проектах шоу-бизнеса, проектах выставок произведений искусства, кинематографических и театральных проектах. Даже эта книга выпускалась по отдельному проекту. Имеет место и обратное явление. Чисто драматургическое понятие «сценарий» стало широко использоваться в сложных многовариантных технических проектах.

Так что же такое проект? Вот что написано об этом в «Советском энциклопедическом словаре» выпуска 1988 года (четвертое издание): **проект** (от лат. Projectus, букв. - брошенный вперед): 1) Совокупность док-тов (расчетов, чертежей и др.) для создания к.-л. сооружения или изделия. 2) Предварит. текст к.-л. док-та. 3) Замысел, план; **проектирование**: процесс создания проекта - прототипа, прообраза предполагаемого или возможного объекта, состояния. Наряду с традиц. видами (архит.-строит., маш.-строит., технол. и др.) начали складываться самостоят. направления **п.** человеко-машинных систем, трудовых процессов, орг-ций, экологич., социальное, инж.-психол., генетич. и др.).

В зарубежной литературе методологические вопросы Project Management описаны в работах [П1-П6]. Первой книгой, в которой впервые в отечественной практике в систематизированном виде изложены методологические основы методов Project Management в специфических условиях современной России, является книга В.И. Воропаева «Управление проектами в России» [П7]. Представленные ниже общие сведения о том, «что такое проект» и «что такое управление проектом» в значительной своей части заимствованы из главы 1 этой книги.

Как отмечено в [П7], единого общепринятого определения «проект» в литературе не существует, поэтому рассмотрим некоторые определения этого понятия, имеющиеся на Западе и используемые в управлении проектами:

- 1) Толковый словарь Вебстера: *«Проект (англ. - project) - это что-либо, что задумывается или планируется, большое предприятие».*
- 2) Свод знаний по управлению проектами, PMI, США [П1]: *«Проект - некоторое предприятие с изначально установленными целями, достижение которых определяет завершение проекта».*

3) Английская Ассоциация проект-менеджеров [П2]: *«Проект - это отдельное предприятие с определенными целями, часто включающими требования по времени, стоимости и качеству достигаемых результатов».*

4) DIN 69901, Германия [П3] дает следующее нормативное определение понятия «проект»: *«Проект - это предприятие (намерение), которое в значительной степени характеризуется неповторимостью условий в их совокупности, например: задание цели; временные, финансовые, людские и другие ограничения; разграничения от других намерений; специфическая для проекта организация его осуществления».*

5) Мировой Банк в своем «Оперативном руководстве» №2.20 для поддерживаемых проектов дает следующее определение проекта: *«Понятие «проект» обозначает комплекс взаимосвязанных мероприятий, предназначенных для достижения, в течение заданного периода времени и при установленном бюджете, поставленных задач с четко определенными целями...».*

В качестве целей Мировой Банк выдвигает достижение специфических для него результатов преимущественно социальной и экономической ориентации: а) увеличить и реконструировать производственные возможности экономической и социальной инфраструктур и повысить их сохранность и использование; б) оказать техническую помощь в подготовке, реализации и руководстве проектах, обучении кадров; в) предоставить финансовые средства, услуги и содействие при подготовке к реализации проектов.

Как видно из приведенных выше определений, предприятия или намерения, обладающие признаками проекта, имеют междисциплинарный, а также надфункциональный и надпредметный характер. То есть имеют общие для всех проектов признаки.

Что же это за признаки?

Анализируя определения проекта и следуя работам [П4-П6], выделим следующие основные признаки проекта: изменения как основное содержание проекта; ограничения во времени цели; временная ограниченность продолжительности проекта; отношение к бюджету; ограниченность требуемых ресурсов; неповторимость; новизна; комплексность; правовое и организационное обеспечение; разграничение. Каждый из этих признаков описан в [П7].

На основе анализа определений и признаков проекта в [П7] дано следующее определение проекта, которое удовлетворяет всем основным признакам и не противоречит ни одному из приведенных определений: ***«Проект - это ограниченное по времени целенаправленное изменение отдельной системы с установленными требованиями к качеству результатов, возможными рамками расхода средств и ресурсов и специфической организацией».***

Включение в определение «отдельной системы» указывает не только на целостность проекта и его разграниченность с другими предприятиями, но и подчеркивает единственность проекта (в отличие от серийного производства), а значит - его неповторимость и признаки новизны.

Многообразие проектов, с которыми приходится сталкиваться в реальной жизни, чрезвычайно велико. Они могут сильно отличаться по сфере приложения,

составу предметной области, масштабам, длительности, составу участников, степени сложности, влиянию результатов и т.п.

Для удобства анализа и синтеза проектов, систем управления проектами множество разнообразных проектов может быть классифицировано по различным основаниям. Ниже приведена заимствованная из [П7] *система классификации*, которая не является единственной и не претендует на завершенность (в скобках указаны основные признаки):

Тип проекта (по основным сферам деятельности, в которых осуществляется проект): технический, организационный, экономический, социальный, смешанный.

Класс проекта (по составу и структуре проекта и его предметной области): монопроект, мультипроект, мегапроект. Монопроект - это отдельный проект различного типа, вида и масштаба. Мультипроект - это комплексный проект, состоящий из ряда монопроектов и требующий применения многопроектного управления. Мегапроект - целевые программы развития регионов, отраслей и др. образований, включающие в свой состав ряд моно- и мультипроектов.

Масштаб проекта (по размерам самого проекта, количеству участников и степени влияния на окружающий мир): мелкие проекты, средние проекты, крупные проекты, очень крупные проекты. Это разделение проектов очень условное. Можно масштабы проектов рассматривать в более конкретной форме - межгосударственные, международные, национальные, межрегиональные и региональные, межотраслевые и отраслевые, корпоративные, ведомственные, проекты одного предприятия.

Длительность проекта (по продолжительности периода осуществления проекта): краткосрочные (до 3-х лет), среднесрочные (от 3-х до 5-ти лет), долгосрочные (свыше 5-ти лет).

Сложность проекта (по степени сложности): простые, сложные, очень сложные.

Вид проекта (по характеру предметной области проекта): инвестиционный, инновационный, научно-исследовательский, учебно-образовательный, смешанный. К инвестиционным обычно относят проекты, в которых главной целью является создание или реновация основных фондов, требующие вложения инвестиций. К инновационным проектам относят проекты, где главная цель заключается в разработке и применении новых технологий, ноу-хау и других нововведений, обеспечивающих развитие систем.

В соответствии с классификацией и подразделением проектов на виды можно выделить некоторые особенности и типичные условия, позволяющие отличить виды проектов друг от друга.

Инвестиционные проекты.

Строительство жилого дома, реконструкция предприятия или возведение плотины - это проекты, для которых определены и фиксированы: цель проекта (например, кв. м. жилой площади, объем производства продукции, размеры и профиль плотины); срок завершения и продолжительность; расходы на проект. Требуемые ресурсы и фактическая стоимость проекта будут зависеть в первую очередь от хода выполнения работ и продвижения каждого проекта. Для этого вида

проектов требуемые мощности должны предоставляться в соответствии с графиком и сроком готовности этапов и завершения проекта.

Проекты исследования и развития.

Разработка нового продукта, исследования в области строительных конструкций или разработка новой информационно-управляющей системы характеризуется следующими особенностями: главная цель проекта четко определена, но отдельные цели должны уточняться по мере достижения частных результатов; срок завершения и продолжительность проекта определены заранее, желательно их точное соблюдение, однако они должны также корректироваться в зависимости от полученных промежуточных результатов и общего продвижения проекта; планирование расходов на проект часто зависит от выделенных ассигнований и меньше от действительного продвижения проекта; основные ограничения связаны с лимитированной возможностью использования мощностей (оборудования и специалистов). Как правило, здесь имеющиеся мощности определяют расходы на проект и срок его готовности.

Организационные проекты.

Реформирование предприятия, реализация концепции новой системы управления, создание новой организации или проведение международного форума - как проекты характеризуются следующим: цели проекта заранее определены, однако результаты проекта количественно и качественно труднее определить, чем в первых двух случаях, т.к. они связаны, как правило, с организационным улучшением системы; срок и продолжительность задаются предварительно; ресурсы предоставляются по мере возможности; расходы на проект фиксируются и подвергаются контролю на экономичность, однако требуют корректировок по мере продвижения проекта.

Экономические проекты.

Приватизация предприятий, создание аудиторской системы, введение новой системы налогов - это все экономические проекты, обладающие своими особенностями: целью проектов является улучшение экономических показателей функционирования системы, поэтому их оценить значительно труднее, чем в ранее рассмотренных случаях; главные цели предварительно намечаются, но требуют корректировки по мере продвижения проекта; то же самое относится и к срокам проекта; ресурсы для проекта предоставляются по мере необходимости в рамках возможного; расходы определяются предварительно, контролируются на экономичность и уточняются по мере продвижения проекта. Это означает, что экономические результаты должны быть достигнуты в фиксированные сроки при установленных расходах, а ресурсы предоставляются по потребности.

Социальные проекты.

Реформирование системы социального обеспечения, здравоохранения, социальная защита необеспеченных слоев населения, преодоление последствий природных и социальных потрясений - все это социальные проекты, имеющие свою специфику: цели только намечаются и должны корректироваться по мере достижения промежуточных результатов, количественная и качественная их оценка существенно затруднена; сроки и продолжительность проекта зависят от

вероятностных факторов или только намечаются и впоследствии подлежат уточнению; расходы на проект, как правило, зависят от бюджетных ассигнований; ресурсы выделяются по мере потребности в рамках возможного. Социальные проекты обладают наибольшей неопределенностью.

Осуществление проекта происходит в окружении некоторой динамической внутренней и внешней среды, которая оказывает на него определенное воздействие. Так же, как в строительном проекте необходимо уметь определить и рассчитать все виды статических и динамических нагрузок на конструкции возводимых сооружений и внешнюю среду, так и в проекте более широкого толкования важно определить и учесть все возможные воздействия на проект и его окружение, как физическое, так и экономическое, социальное, финансовое, организационное и др. В определенных условиях каждое из таких воздействий может оказаться критическим для проекта и привести к его «разрушению».

Отношения между проектом и окружающей средой можно рассмотреть на примере проекта развития продукта для некоего производящего продукцию предприятия. Нормальная, длительное время функционирующая организация служит основой для возникновения потребности в изменениях и новшествах, что в результате ведет к возникновению проекта. Когда же проект по-настоящему начат, он получает вскоре самостоятельную жизнь. Во время осуществления проекта его участники концентрируются на выполнении своих заданий. Они живут, думают и действуют в мире их проекта. В рамках долговременной организации-предприятия возникла маленькая, относительно кратковременная организация «проект».

Во время реализации проекта продолжается нормальная жизнь предприятия с производством, сбытом, управлением. То же самое касается и дальнего окружения проекта. Здесь тоже происходят изменения, которые через предприятие влияют на проект. Проект нельзя отделить от этих окружающих условий и их развития. Значит, необходимо заблаговременно учитывать непосредственное окружение проекта (то есть само предприятие) и дальнее окружение проекта (то есть окружение предприятия). Их изменения могут впоследствии сыграть решающую роль для успеха проекта.

Рассмотрим теперь влияние предприятия на проект, т.е. **факторы ближнего окружения проекта.**

Руководство предприятия - является главным источником определения цели и основных требований к проекту. Руководство предприятия обобщает отдельные требования экспертов, исходя из стратегии развития предприятия. К этому добавляются собственные требования руководства, например, требования к результатам проекта, требования к реализации проекта, методика и порядок корректировки цели и требований к проекту со стороны отделов и специалистов предприятия и др.

Сфера финансов - определяет бюджетные рамки проекта с учетом калькуляции для серийного производства продукта и покрытия расходов на проект, а также способы и источники финансирования проекта.

Сфера сбыта - формирует важные требования и условия к проекту, связанные с рынком сбыта и определяемые решениями покупателей, наличием и действиями конкурентов.

Сфера изготовления - связана с рынком средств производства и выдвигает свои специфические требования, как например: рекомендации по использованию технологий и оборудования, требования загрузки простаивающих участков производства, отказ от определенных технологических процессов, согласование требований к проекту с возможностями рынка средств производства и др.

Сфера материального обеспечения - связана с рынком сырья и полуфабрикатов и формирует свои требования к проекту, вытекающие из возможности обеспечения сырьем, материалами и оборудованием по приемлемым ценам.

Сфера инфраструктуры - связана с рынком услуг и различного сервиса и выдвигает свои требования к проекту и его обеспечению. Сюда относятся требования к рекламе, транспорту, связи, телекоммуникациям, информационному и различным видам инженерного и другим видам обеспечения.

Сфера очистки и утилизации промышленных отходов - связана со службой и требованиями к охране окружающей среды и разумному использованию отходов производства.

Возможны и другие требования со стороны различных отделов предприятия.

В задачи руководителя проекта, его команды и проект-менеджмента входят: сбор полных требований к проекту; обеспечение проектной информацией всех заинтересованных участников; определение возможности и степени удовлетворения требований; определение формы и масштаба сбора информации о требованиях к проекту и их изменениях; формирование прогноза динамики окружения проекта; формирование критериев оценки приоритетов и иерархии требований: от обязательных для исполнения до «мелких пожеланий».

Окружение предприятия также оказывает существенное влияние на проект как через предприятие, так и непосредственно. К окружению предприятия относятся:

Политические характеристики и факторы: политическая стабильность; поддержка проекта правительством; националистические проявления; уровень преступности; торговый баланс со странами-участниками; участие в военных союзах.

Экономические факторы: структура национального хозяйства; виды ответственности и имущественные права, в т.ч. на землю; тарифы и налоги; страховые гарантии; уровень инфляции и стабильность валюты; развитость банковской системы; источники инвестиций и капитальных вложений; степень свободы предпринимательства и хозяйственной самостоятельности; развитость рыночной инфраструктуры; уровень цен; состояние рынков: сбыта, инвестиций, средств производства, сырья и продуктов, рабочей силы и др.

Общество - его характеристики и факторы: условия и уровень жизни; уровень образования; свобода перемещений, «въезд-выезд»; трудовое законодательство, запрещение забастовок; здравоохранение и медицина, условия

отдыха; общественные организации, пресса, телевидение; отношение местного населения к проекту.

Законы и право: права человека; права предпринимательства; права собственности; законы и нормативные акты о предоставлении гарантий и льгот.

Наука и техника: уровень развития фундаментальных и прикладных наук; уровень информационных технологий и компьютеризации; уровень промышленных и производственных технологий; энергетические системы; транспортные системы; связь, коммуникации.

Культура: уровень грамотности; история, культурные традиции, религия; культурные потребности: жизнеобеспечение, работа, отдых, спорт и др.; уровень требований к качеству результатов и условий труда.

Природные и экологические факторы: естественно-климатические условия: температура, осадки, влажность, ветры, высота над уровнем моря, сейсмичность, ландшафт и топография и др.; природные ресурсы; расположение и связь с транспортными сетями; стандарты по качеству: воздушного пространства, водных источников и почвенному покрову; санитарные требования к окружающей среде; законодательство по защите окружающей среды; характеристика тенденций и состояния экологических систем: воздуха, воды, почвы.

Характеристики и факторы инфраструктуры: средства транспорта, связи и коммуникации, перевозка грузов; сети ЭВМ и информационные системы; энергоснабжение; коммунальные службы; сырье и услуги; сбытовая сеть, логистика и материально-техническое снабжение; промышленная инфраструктура; обслуживающие системы и прочие.

На сам проект и особенно на процесс его успешной реализации существенное влияние оказывает **внутреннее окружение проекта**, наиболее существенными факторами которого являются:

Стиль руководства проектом - определяет психологический климат и атмосферу в команде проекта, влияет на ее творческую активность и работоспособность.

Специфическая организация проекта - определяет взаимоотношения между основными участниками проекта, распределение прав, ответственности и обязанностей и влияет на успех осуществления проекта.

Участники проекта - реализуют различные интересы в процессе осуществления проекта, формируют свои требования в соответствии с целями и мотивацией и оказывает влияние на проект в соответствии со своими интересами, компетенцией и степенью «вовлеченности» в проект.

Команда проекта - является «мозговым центром», мотором и исполнительным органом проекта, от которого во многом зависит прогресс и успех проекта.

Методы и средства коммуникации - определяют полноту, достоверность и оперативность обмена информацией между заинтересованными участниками проекта. По существу это «нервная система проекта», от степени совершенства которой зависит во многом его успех.

Экономические условия проекта - связаны со сметой и бюджетом проекта, ценами, налогами и тарифами, риском и страхованием, стимулами и льготами и

другими экономическими факторами, действующими внутри проекта и определяющими его основные стоимостные характеристики.

Социальные условия проекта - характеризуются: обеспечением стандартных условий жизни для участников проекта; уровнем заработной платы; предоставляемыми коммунальными услугами; предоставлением социальных условий (школы, сады, медобслуживание, отдых и т.д.); условия труда и техники безопасности; страхованием и социальным обеспечением и др.

К прочим факторам можно отнести:

Экологическое воздействие результатов проекта на окружающую среду.

Технические условия: принятые основные технологии проекта; оборудование, машины и др.

Уровень компьютеризации и информатизации проекта.

Организация, система документации проекта.

Из приведенных выше данных видно, как глубоко простираются связи проекта с его окружением. Однако степень влияния факторов окружения для различных проектов различна. В таблице П1 приведены экспертные данные о степени влияния факторов окружения проекта для основных типов и видов проектов сопоставимых масштабов. Оценки влияния: 0 - не влияет; 1 - слабо влияет; 2 - средне (существенно) влияет; 3 - сильно влияет.

Таблица П1.

Экспертная оценка степени влияния факторов окружения на различные типы проектов

Типы и виды проектов	Сферы влияния окружения проекта								
	Политика	Экономика	Общество	Закон и право	Наука и техника	Культура	Промышленность	Экология	Инфраструктура
Социальные	3	3	3	3	1	3	1	2	2
Экономические	3	3	2	3	1	2	0	1	1
Организационные	2	3	2	3	2	3	2	1	1
Инновационные	1	2	1	2	3	3	1	1	1
Инвестиционные	1	3	2	3	2	1	3	3	3

Из анализа этих данных можно сделать следующие интересные выводы:

- наибольшему влиянию внешнего окружения подвержены социальные и инвестиционные проекты, затем организационные, экономические, в меньшей степени - инновационные;
- наибольшее влияние на проекты оказывают: экономика, законы и право, затем культура, что несколько неожиданно, и только после этого политика и общество;
- наименьшее влияние на проекты оказывают природа, экология и инфраструктура.

Состав участников проекта, их роли, распределение функций и ответственности зависят от типа, вида, масштаба и сложности проекта, а также от фаз жизненного цикла проекта. Таким образом, постоянными являются функции по реализации проекта на протяжении его жизненного цикла, а состав участников, их роли, распределение ответственности и обязанностей могут меняться. Здесь не существует общепринятых жестких регламентов. Ниже перечислены основные участники проекта и их функции.

Инициатор - сторона, являющаяся автором главной идеи проекта, его предварительного обоснования и предложений по осуществлению проекта. В качестве инициатора может выступать практически любой из будущих участников проекта, но в конечном счете деловая инициатива по осуществлению проекта должна исходить от обретенного проектом заказчика.

Заказчик - главная сторона, заинтересованная в осуществлении проекта и достижении его результатов. Будущий владелец и пользователь результатов проекта. Заказчик определяет основные требования и масштабы проекта, обеспечивает финансирование проекта за счет своих средств или средств привлекаемых инвесторов, заключает контракты с основными исполнителями проекта, несет ответственность по этим контрактам, управляет процессом взаимодействия между всеми участниками проекта. Несет ответственность за проект в целом перед обществом и законом.

Инвестор(ы) - сторона(ы), вкладывающая инвестиции в проект, например, посредством кредитов. Цель инвесторов - максимизация прибыли на свои инвестиции от реализации проекта. Если инвестор и заказчик не являются одним и тем же лицом, то в качестве инвесторов обычно выступают банки, инвестиционные фонды и другие организации. Инвесторы вступают в контактные отношения с заказчиком, контролируют выполнение контрактов и осуществляют расчеты с другими сторонами по мере выполнения проекта. Инвесторы являются полноправными партнерами проекта и владельцами всего имущества, которое приобретается за счет их инвестиций, пока им не будут выплачены все средства по контракту с заказчиком или кредитному соглашению.

Руководитель проекта - юридическое лицо, которому заказчик и инвестор делегируют полномочия по руководству работами по осуществлению проекта: планированию, контролю и координации работ всех участников проекта. Состав функций и полномочий руководителя проекта определяется контрактом с заказчиком. Однако перед руководителем проекта и его командой обычно ставится задача всеобъемлющего руководства и координации работ на протяжении жизненного цикла проекта, до достижения определенных в проекте целей и результатов при соблюдении установленных сроков, бюджета и качества.

Команда проекта - специфическая организационная структура, возглавляемая руководителем проекта и создаваемая на период осуществления проекта. Задача команды проекта - осуществление функций управления проектом до эффективного достижения целей проекта. Состав и функции команды проекта зависят от масштабов, сложности и др. характеристик проекта, однако во всех случаях состав

команды должен обеспечить высокий профессиональный уровень всех возложенных на нее обязанностей.

Контрактор (генеральный контрактор) - сторона или участник проекта, вступающий в отношения с заказчиком и берущий на себя ответственность за выполнение работ по контракту - это может быть весь проект или его часть. Цель контрактора - получение максимально возможной прибыли. В функции генконтрактора входит заключение контракта с заказчиком (инвестором), отбор и заключение договоров с субконтракторами, обеспечение координации их работ, принятие и оплата работ исполнителей. В качестве контрактора может выступать руководитель проекта или другие активные участники проекта.

Субконтрактор - вступает в договорные отношения с контрактором или субконтрактором более высокого уровня. Несет ответственность за выполнение работ или услуг в соответствии с контрактом.

Проектировщик - юридическое лицо, выполняющее по контракту проектно-исследовательские работы в рамках проекта. Вступает в договорные отношения с генконтрактором проекта или непосредственно с заказчиком.

Генеральный подрядчик - юридическое лицо, чье предложение принято заказчиком. Несет ответственность за выполнение работ в соответствии с контрактом. Подбирает и заключает договоры с субподрядчиками на выполнение отдельных работ и услуг. В строительных проектах роль генподрядчика обычно выполняют строительные или проектно-строительные фирмы и организации.

Поставщики - субконтракторы, осуществляющие разные виды поставок на контрактной основе - материалы, оборудование, транспортные средства и др.

Лицензоры - организации, выделяющие лицензии на право владения земельным участком, ведения торгов, выполнения определенных видов работ и услуг и т.п.

Органы власти - сторона, удовлетворяющая свои интересы путем получения налогов от участников проекта, выдвигающая и поддерживающая экологические, социальные и другие общественные и государственные требования, связанные с реализацией проекта.

Владелец земельного участка - юридическое или физическое лицо, являющееся владельцем участка земли, вовлеченного в проект. Вступает в отношения с заказчиком и передает на договорной основе право пользования или владения этим участком земли.

Производитель конечной продукции проекта - осуществляет эксплуатацию созданных основных фондов и производит конечную продукцию. Главная цель - получение прибыли от продажи готовой продукции потребителям. Принимает участие на всех фазах проекта и взаимодействует с основными участниками проекта. Его роль и функции зависят от доли собственности в конечных результатах проекта. Во многих случаях является заказчиком и инвестором проекта.

Потребители конечной продукции - юридические и физические лица, являющиеся покупателями и пользователями конечной продукции, определяющие требования к производимой продукции и оказываемым услугам, формирующие

спрос на них. За счет средств потребителей возмещаются затраты на проект и формируется прибыль всех участников проекта.

Другие участники проекта. На осуществление проекта оказывают влияние и другие стороны из окружения проекта, которые по существу также могут быть отнесены к участникам проекта, это: конкуренты основных участников проектов; общественные группы и население, чьи экономические и внеэкономические интересы затрагивает осуществление проекта; спонсоры проекта; различные консалтинговые, инжиниринговые, юридические организации, вовлеченные в процесс осуществления проекта и др.

Для определения полного состава участников проекта, построения его функциональной и организационной структур для каждого проекта на стадии разработки концепции проекта необходимо определить:

1) Предметную область - цели, задачи, работы и основные результаты, т.е. «Что нужно сделать, чтобы реализовать проект?», а также его масштабы, сложность, допустимые сроки.

2) Отношения собственности, вовлеченной в процесс осуществления проекта (Что, сколько стоит и кому принадлежит?).

3) Основные идеи реализации проекта (Как сделать?).

4) Основные активные участники проекта (Кто будет делать?).

5) Основные пассивные участники проекта (Кого касается проект?).

6) Каковы мотивации участников проекта? (Возможный доход, ущерб, риск и т.д.).

Ответы на эти вопросы позволяют выявить участников проекта, их цели, мотивации, определить взаимоотношения и на этой основе принять обоснованные решения по организации и управлению проектом.

Одними из центральных понятий, связанных с проектом, является понятие цели и задач проекта. **Цель - это желаемый результат деятельности, достигнутый в пределах некоторого интервала времени. Задача - желаемый результат деятельности, достижимый за намеченный (заданный) интервал времени и характеризующийся набором количественных данных или параметров этого результата.** Таким образом, цель становится задачей, если указан срок ее достижения и заданы количественные характеристики желаемого результата. Кроме того, очевидно, что цель более общая категория, чем задача: она достигается в результате решения ряда задач. Отсюда следует, что задачи можно упорядочить по отношению к целям.

Согласно определению по DIN 69901 [ПЗ], цель проекта - это «доказуемый результат и заданные условия реализации общей задачи проекта». Для каждого проекта может быть построено множество взаимосвязанных целей, отражающих структуру самого проекта и его участников. Для возможности определения степени достижения целей проекта необходимо выбрать соответствующие **критерии**. На основе этих критериев можно оценивать альтернативные решения по достижению целей проекта. Цели должны находиться в «области допустимых решений» проекта.

Однажды сформулированные цели не должны рассматриваться как нечто неизменное. В ходе реализации проекта под воздействием изменений в окружении проекта и получаемых промежуточных результатов цели проекта могут претерпевать изменения. Поэтому целеполагание нужно рассматривать как непрерывный динамический процесс, в котором анализируются сложившиеся ситуации, тенденции и при необходимости осуществляются корректировки целей.

В УП при описании цели проекта должны найти отражение в четкой однозначно интерпретируемой форме результат проекта, срок окончания, расходы, порядок изменения цели, иерархия зависимых целей. **Описание цели проекта определяет сущность проекта.**

Для выявления и осознания целей, состава и содержания проекта, организации планирования и контроля процессов осуществления проектов необходимо определить и построить **структуру проекта**, под которой понимается совокупность взаимосвязанных элементов и процессов проекта, представленных с различной степенью детализации. Структура проекта представляет собой стройную иерархическую декомпозицию проекта на составные части (элементы, модули), необходимые и достаточные для планирования и контроля осуществления проекта для различных его участников.

Каждый проект от возникновения идеи до полного своего завершения проходит ряд последовательных ступеней своего развития. **Полная совокупность ступеней развития образует жизненный цикл проекта. Жизненный цикл принято разделять на фазы, фазы - на стадии, стадии - на этапы. Проект проходит четыре фазы развития: концепция, разработка, реализация, завершение.**

Каждый проект имеет **окружение**. В качестве ближнего окружения большинства проектов выступает «родительская организация», где данный проект является составной частью «жизненного цикла деловой активности организации». Проект может быть тесно связан с выпуском новой продукции или услуг и осуществлением необходимых для этих целей изменений. Таким образом, проект связан еще и с «жизненным циклом продукта».

Рассмотрим более подробно содержание отдельных фаз проекта.

Начальная фаза проекта (разработка концепции) требует выполнения следующих работ: сбор исходных данных и анализ существующего состояния (предварительное обследование); выявление потребности в изменениях (проекте); определение результата (цели, задачи, результаты; основные требования, ограничительные условия, критерии; уровень риска; окружение проекта, потенциальные участники; требуемое время, ресурсы, средства и др.); определение и сравнительная оценка альтернатив; представление предложений, их апробация и экспертиза; утверждение концепции и получение одобрения для следующей фазы.

Фаза разработки проекта требует выполнения следующих работ: назначение руководителя проекта и формирование команды проекта, в первую очередь ключевых членов команды; установление деловых контактов и изучение целей, мотивации и требований заказчика и владельцев проекта, других ключевых участников; развитие концепции и разработка основного содержания проекта (конечные результаты и продукты; стандарты качества; структура проекта;

основные работы; требуемые ресурсы); структурное планирование (декомпозиция проекта; календарные планы и укрупненные графики работ и обеспечения; смета и бюджет проекта; потребность в ресурсах; процедуры УП и техника контроля; определение и распределение рисков.

Фаза реализации проекта требует выполнения следующих работ: организация и проведение торгов, заключение контрактов; полный ввод в действие разработанной системы УП; организация выполнения работ; ввод в действие средств и способов коммуникации и связи участников проекта; ввод в действие системы мотивации и стимулирования команды проекта; детальное проектирование и технические спецификации; оперативное планирование работ; установление системы информационного контроля за ходом работ; организация и управление материально-техническим обеспечением работ, в т.ч. запасами, покупками, поставками; выполнение работ, предусмотренных проектом (в т.ч. производство строительно-монтажных и пуско-наладочных работ); руководство, координация работ, согласование темпов, мониторинг прогресса, прогноз состояния, оперативный контроль и регулирование основных показателей проекта (ход работ, их темпы; качество работ и проекта; продолжительность и сроки; стоимость и другие показатели); решение возникающих проблем и задач.

Фаза завершения проекта требует выполнения следующих работ: планирование процесса завершения проекта; эксплуатационные испытания окончательного продукта проекта; подготовка кадров для эксплуатации создаваемого проекта; подготовка документации, сдача объекта заказчику и ввод в эксплуатацию; оценка результатов проекта и подведение итогов; подготовка итоговых документов; закрытие работ проекта; разрешение конфликтных ситуаций; реализация оставшихся ресурсов; накопление фактических и опытных данных для последующих проектов; расформирование команды проекта.

Большое значение имеют следующие дополнительные элементы проекта: *начальные условия, ограничения и требования к проекту* (характеризуют предысторию и существующее состояние системы; существующее состояние окружения системы; требования к результатам проекта и способам их достижения; ограничения на цели и результаты проекта, определяющие количественные характеристики и допущенные границы); *область допустимых решений проекта*; *документация проекта*; *виды обеспечения проекта* (функциональное, информационное, математическое, программное, техническое, организационное, правовое, методическое, прочие виды обеспечения); *методы и техника управления проектами*.

Совокупность формальных, логических, организационных методов и технических приемов управления проектами, затрагивающих обширные области знаний и дисциплины по выработке и принятию решений образуют **ядро технологии и организации управления проектами**, и именно за счет их применения во многом обеспечивается эффективная реализация проектов. На разных фазах и этапах жизненного цикла и для разных типов и видов проектов используются различные методы и техника управления. Перечислим основные из них в порядке развития основных фаз жизненного цикла проекта.

При разработке концепции проекта используются: методы определения целей проекта; методы описания и анализа целей: морфологические деревья, дерево целей, методы маркетинга, социологические методы, экспертные системы; методы концептуального проектирования: формализованное описание предметной области, начальных условий и ограничений, выбор критериев, поиск решений, анализ альтернатив; методы предпроектного анализа.

При разработке проекта используются: методы структурной декомпозиции; методы построения композиционных структурных моделей; методы решения задач на структурных моделях; методы моделирования процессов осуществления проектов; методы построения систем моделей (в т.ч. иерархических) с заданными свойствами; имитационное моделирование; методы календарного планирования: временной, стоимостной, ресурсный анализ, планирование ресурсов и затрат; методы функционально-стоимостного анализа, учет риска, надежности и др.; методы управления качеством; методы управления риском; методы проектного анализа на стадии разработки.

При реализации проекта используются: методы оперативного планирования работ, времени, ресурсов. Стоимости; методы мониторинга проекта: учет. Контроль, анализ хода работ и динамики показателей; актуализация планов. Прогноз развития проекта и регулирование; методы контроля затрат; методы управления запасами; методы управления изменениями; методы проектного анализа на стадии реализации проекта.

При завершении проекта используются: методы анализа эффективности проекта; методы разработки исполнительных графиков и анализа данных о запланированном и фактическом ходе выполнения проектов.

Перечислим **основные технико-экономические и другие показатели результатов проекта**: объемы работ; сроки выполнения; стоимость, затраты, себестоимость, прибыль; качество; коммерческий риск, надежность; жизнеспособность проекта; конкурентоспособность; социальная и общественная значимость проекта и др.

В процессе анализа и осуществления проекта на протяжении его жизненного цикла основные характеристики проекта должны помочь оценить следующие основные аспекты его осуществления: *технические, коммерческие, финансовые, экологические, организационные, социальные, экономические и др.* Каждый из перечисленных аспектов может рассматриваться как множество факторов воздействия на проект на протяжении его жизненного цикла - положительного или отрицательного. Задача проект-менеджера и его команды состоит в том, чтобы оценить степень влияния каждого из факторов, усилить положительные воздействия и нейтрализовать или ослабить влияние отрицательных факторов.

Теперь пришла пора разобраться, **«что такое управление проектом»**.

Будем придерживаться того же принципа, что и при определении понятия проекта. Вот какой смысл вкладывают в понятие «управление проектом» профессионалы из стран-родоначальников УП:

1) Свод знаний по управлению проектами, PMI, США [П1]:

«Управление проектом (УП) или Project Management (PM) - это искусство руководства и координации людских и материальных ресурсов на протяжении жизненного цикла проекта путем применения современных методов и техники управления для достижения определенных в проекте результатов по составу и объему работ, стоимости, времени, качеству и удовлетворению участников проекта».

2) Английская ассоциация проект-менеджеров [П2]:

«Управление проектом - это управленческая задача по завершению проекта во время, в рамках установленного бюджета и в соответствии с техническими спецификациями и требованиями. Проект-менеджер является ответственным за достижение этих результатов».

3) DIN 69901, Германия [П3]:

«Управление проектами - это единство управленческих задач, организации, техники и средств для реализации проекта».

В соответствии с [П4] в понятие «управление» («менеджмент») входят следующие признаки:

1. Отдельный индивидуум не может справиться с решением большого объема задач, это требует объединения специалистов и разделения труда. Результатом является необходимость в социально-технической системе или системе управления, преследующей определенные цели.

2. Чтобы достигнуть определенных целей, требуются ресурсы, которые необходимо обеспечить, скомбинировать, скоординировать и использовать.

3. Действия по обеспечению достижения целей обозначают словом «менеджмент» («управление»). С одной стороны, структура системы управления должна развиваться плавно, с другой - необходимо организованно оформить протекание процессов ее работы, коммуникаций и принятия решений как внутри системы, так и за ее пределами.

4. Организация как социально-экономическая система определяет рамки, внутри которых управление (как институт) может решать свои задачи (управление как функция).

Все выделенные признаки управления имеют силу для всех видов проектов, а также для мероприятий, имеющих признаки проекта.

Основываясь на этих характеристиках, проф. Х. Реше определяет управление проектами как **«прямую, межпрофессиональную корпорацию процессов планирования, управления и принятия решений при межпрофессиональной постановке задач».**

Проекты, как правило, тогда считаются успешными, когда удается достигнуть поставленных целей проектов при соблюдении установленных сроков и бюджета.

По [П6] все положения дисциплины «управление проектом» основываются на следующей гипотезе: **«организованное протекание проекта больше способствует достижению целей проекта, чем неорганизованное (организация вместо импровизации)».** Компонентами такой организации

являются содержание работы («что»), время работы («когда») и порядок работы («с кем»).

Содержание работы по УП состоит из объектов и действий или процессов для создания этих объектов. «Конечный объект» или «предметная область» проекта декомпозируются в структурной модели проекта на нескольких уровнях на частичные объекты и/или действия. Для уточнения «предмета» проекта в целом и для отдельных элементов структурного плана проекта должны быть найдены и включены в определение проекта **основные и частичные цели**. Поскольку цели проекта могут изменяться в ходе его осуществления и обнаруженные ошибки должны быть устранены, необходимо систематическое **управлениями изменениями**, чтобы планировать изменения, контролировать их проведение и воздействие на сроки, расходы и другие характеристики проекта. **Управление качеством** должно с начала осуществления проекта обеспечивать достижение установленного заказчиком или соответствующего требованиям рынка качества. **Управление контрактами** регулирует отношения с заказчиком, исполнителями и поставщиками.

Помимо декомпозиции проекта, необходимо определить работы и процессы, которые должны быть выполнены для достижения результата проекта, и установить их последовательность. При помощи структурной или фазовой модели, которая делит весь процесс на отдельные временные отрезки (фазы), в первом приближении задается выполнение проекта. Окончание фаз соответствует вехам, т.е. значительным и, как правило, контролируемым событиям проекта. В большинстве случаев вехам соответствуют определенные промежуточные результаты. В конце каждой фазы должно приниматься решение о прерывании проекта или его продолжении, возможно, со значительными модификациями.

Для детального планирования работ и сроков недостаточно одной структурной модели. Необходимо дополнить ее сетевым планом (или другими моделями, например, линейными диаграммами). Сетевой план, в котором должны содержаться вехи фазовой модели, показывает зависимость отдельных работ друг от друга и позволяет произвести определение самых ранних и поздних сроков начала и окончания отдельных работ, а также резервы времени. Если на отдельные работы спроецировать необходимые для их выполнения средства, то можно определить потребность в средствах на проект или сумму проектов (мультипроектное планирование), распределенную во времени.

Результаты оценки потребности в используемых средствах с учетом расходов или прямого соотнесения расходов и работ (комплексов работ), является **планирование расходов** на проект, которое определяет размер и распределение во времени спланированных для проекта расходов. Путем определения зависящих от времени расходов осуществляется также планирование потребности в платежных средствах для проекта и формирование его бюджета. Для планирования выполнения работ, времени, ресурсов и стоимости имеются специальные пакеты программного обеспечения. Сведения о некоторых из них представлены в конце книги в рекламных объявлениях фирм, работающих в области управления проектами.

Упомянутые методы и способы служат для предварительной координации, ориентированной на будущее. При текущей координации работ следует учитывать отклонения действительного продвижения проекта от заданного. Это задачи **оперативного управления проектами**. Здесь требуется определение достигнутого прогресса проекта на текущий момент, установленной системы отчетности и эффективной коммуникации, чтобы возможно быстро информировать всех заинтересованных лиц о состоянии проекта. При управлении проектом, которое охватывает не только сравнение заданного и действительного состояния проекта и анализ отклонений, но и регулирование, должны учитываться сложные отношения между сроками, затратами и целями проекта.

Если проект осуществляется в рамках предприятия, то задача руководства предприятия - однозначно задать цель проекта и отрегулировать распределение ответственности. В задачи же руководителя проекта входит, помимо ориентированного на проект планирования, контроля задач и управления ими, также создание в проекте и для проекта рабочего климата, который обеспечивает целенаправленное и экономичное осуществление проекта и дает каждому участнику проекта возможность самореализации.

Если проект-менеджеру задать вопрос: «Зачем нужно управлять проектом?», то мы получим довольно простой ответ: «Для того, чтобы выполнить проект вовремя, в пределах сметы и в соответствии со спецификацией требований к проекту!»

Потребность в профессиональных методах управления возникла в связи с ростом масштабов и сложности проектов, вовлечением в проект большого числа участников и организаций, возрастанием требований к срокам осуществления проекта, использованию финансовых, материальных и трудовых ресурсов, а также качеству выполнения работ и достигаемых результатов.

Однако само по себе применение профессиональных методов УП может не дать желаемых результатов, если имеют место следующие **ошибки**: недостаточные анализ существующего состояния и обоснование требований к проекту; нечеткое определение целей проекта; вместо объективного поиска альтернатив предпочтение отдается излюбленному варианту; ответственность в проекте распределена недостаточно четко и согласованно; команда проекта недостаточно укомплектована квалифицированным персоналом; имеет место игнорирование возникающих проблем или попытки решить их «сидением на месте»; недооценка риска; импровизация преобладает над систематической организацией; повторение ошибок из старых проектов и отсутствие готовности учиться.

Рассмотрим теперь **окружение УП**, к которому следует отнести **общее управление; техническое управление или управление технологическими процессами; вспомогательные и поддерживающие дисциплины и функции**.

Управление проектами по используемым профессиональным знаниям тесно связано с **общим (внутрифирменным) управлением**, которое включает в себя следующие дисциплины: политика бизнеса; стратегическое планирование; управление финансами; экономика бизнеса; бухгалтерский учет; внутрифирменное планирование и контроль; управление кадрами; маркетинг и сбыт; информационные системы; развитие фирмы и др.

Какая часть знаний из общего управления необходима при УП и должна включаться в круг дисциплин УП? Нужно иметь в виду, что при внешней схожести наименований содержание функций и процессов общего управления и УП принципиально отличны, так как относятся к разным по природе объектам управления и поэтому связаны с решением различных задач, отличающихся по постановке, используемым подходам, а значит, - методам и средствам решения.

Техническое управление или управление технологическими процессами связано с управлением производством и очень сильно зависит от отрасли и типа производства. Назовем несколько традиционных сфер приложения УП: строительство; аэрокосмонавтика; информационно-вычислительные системы; банковское дело; оборона; энергетика и коммунальные службы; правительственные и общественные службы и учреждения; оборудование; промышленность; фармацевтика; телекоммуникации; транспорт и др.

К общим функциям технического управления во всех этих областях можно отнести: управление специалистами; контроль качества; управление режимом и графиками работы; управление стоимостью; управление трудовыми ресурсами; управление коммуникациями; управление взаимодействием смежников; управление изменениями и др. Техническое управление по названиям функций имеет сходство с функциями УП. Однако это также чисто внешнее сходство, т.к. и здесь объекты управления принципиально различные.

Вспомогательные и поддерживающие дисциплины и функции часто необходимы для успешного управления проектами. Сюда могут быть включены и отдельные разделы некоторых дисциплин: обеспечение качества (контроль качества, статистический контроль качества и т.д.); управление изменениями; материально-техническое обеспечение; руководство контрактами; закупки (приобретение, поставки); руководство персоналом; эксплуатация оборудования; юридическая служба; компьютерное программирование.

Можно назвать восемь основных функций управления проектами: управление предметной областью проекта; управление качеством; управление временем; управление стоимостью; управление риском; управление персоналом; управление контрактами и обеспечением проекта; управление взаимодействиями и информационными связями. При этом первые четыре функции являются базовыми, а остальные четыре функции - интегрирующими.

Выделение таких восьми функций оправдано тем, что на их основе определяются такие **важнейшие категории проекта, как техническая осуществимость** (определяемая предметной областью проекта и качеством); **конкурентоспособность** (определяемая качеством, временем и стоимостью); **трудоемкость** (усилия, затрачиваемые на проект, измеряемые временем и стоимостью); **жизнеспособность** (определяемая предметной областью, стоимостью и риском); **эффективность осуществления проекта** (определяемая участвующим персоналом, средствами коммуникаций и общения, системой материально-технического обеспечения).

Напомним читателю, что представленные выше общие сведения о том, «что такое проект» и «что такое управление проектом» в значительной части заимствованы из главы 1 книги [П7].

Теперь несколько слов о месте, которое занимает дисциплина «Управление проектами» в мировом масштабе. К настоящему времени «Управление проектами» стало признанной во всем мире методологией проектной и предпринимательской деятельности, превратилось в своеобразный культурный мост в цивилизованном бизнесе и деловом сотрудничестве между странами и континентами с разной историей развития, традициями, экономикой и культурой.

Сейчас уже трудно назвать хотя бы один значительный проект, который осуществлялся бы вне рамок идеологии и методологии Управления проектами, или солидную компанию, не использующую в своей практике методы и средства Управления проектами. Успехи и неудачи выдающихся проектов стали предметом тщательного изучения с позиций Управления проектами.

Теперь уже и средние предприниматели, и мелкие фирмы, осуществляющие относительно небольшие проекты, все чаще начинают систематически подходить к подготовке, планированию и контролю осуществления своих проектов с использованием методов и средств Управления проектами. И как правило, все они добиваются определенного успеха. Стало общепризнанным, что Управление проектами - весьма прибыльное дело. Применение методов и средств Управления проектами позволяет не только достичь результатов проекта требуемого качества, но и экономит деньги, время, ресурсы, снижает риск, повышает надежность. Управление проектами наиболее эффективно работает и хорошо себя зарекомендовало в условиях рыночной экономики, так как по сути своей относится к экономическим методам управления, в которых стоимостные факторы в конечном счете играют решающую роль.

Наша страна многие годы по существу была в изоляции от «Мира Управления проектами». В то же время именно в СССР, как, пожалуй, ни в одной стране мира, осуществлялось большое число крупных проектов. И поэтому, естественно, здесь накопились свои достижения и опыт управления проектами. Однако в условиях существовавшей в СССР социально-политической системы с высшей степени централизованным административно-командным стилем управления, основанным на волевых решениях и силовом давлении, эти новые методы Управления проектами оказались невостребованными. Потому-то они и не стали самостоятельной дисциплиной и профессиональной областью и не могли заметно повлиять ни на общую культуру управления, ни на развитие народного хозяйства и экономику в целом.

В последние годы в стране произошли кардинальные изменения, которые, в свою очередь, привели к новому витку развития Управления проектами в России. Все больше специалистов, организаций и компаний проявляют устойчивый интерес к Управлению проектами и начинают применять его на практике. Такие элементы Управления проектами, как «Бизнес-план», Прединвестиционный анализ (англ. Easibility Study), Проектный анализ, «Мастер-план» прочно входят в практику подготовки и осуществления инвестиционных проектов.

Хронология официального признания Управления проектами в СССР и в России такова. В мае 1991 г. в Москве был проведен Международный симпозиум «Управление проектами в СССР». Симпозиум был организован ИНТЕРНЕТ - международной ассоциацией организаций и специалистов в области управления проектами (не путать с Internet - глобальной информационной сетью), объединившей национальные общества управления проектами 18 европейских государств; ГПМ - обществом управления проектами, объединившем многие ведущие промышленные, строительные, исследовательские и консультационные фирмы Германии - коллективным членом ИНТЕРНЕТ; ЦНИИЭУС - головным институтом Госстроя СССР - корпоративным членом ИНТЕРНЕТ; СОВНЕТ - ассоциацией управления проектами, учрежденной 25 октября 1990 г. 18 производственными, научными, учебными и проектными советскими организациями, коллективным членом ИНТЕРНЕТ. В качестве спонсора выступил OWZ - Ваугу - Баварский центр по обучению менеджменту «Восток-Запад», г. Мюнхен. В нем приняли участие более 150 специалистов из Австрии, Германии, Чехо-Словакии, Финляндии, Швейцарии, СССР.

На симпозиуме был обсужден широкий круг проблем управления проектами, работала выставка программных продуктов и разработок, были представлены основные пилот-проекты, предлагаемые для совместной разработки СОВНЕТ и ИНТЕРНЕТ, состоялась презентация ассоциации СОВНЕТ.

Центральной темой симпозиума была оценка состояния работ в области управления проектами в СССР и западных странах и обсуждение возможностей использования зарубежного опыта.

По материалам симпозиума выпущены два тома сборников докладов [П8]. В первом томе обобщен опыт и практика применения методов Управления проектами в различных сферах, приведены данные о проектах в различных областях, представленных на симпозиуме для изучения возможности их реализации в рамках международного сотрудничества с ИНТЕРНЕТ и его членами. В ключевых докладах В.И. Воропаева и М.В. Шейнберга «Управление проектами в СССР» и Я.А. Рекетира «Экономические аспекты международного сотрудничества в совместных проектах» показаны основные этапы развития методов управления проектами, используемые методы и программные средства, особенности управления проектами в СССР, негативные тенденции и перспективы развития управления проектами в СССР. Во второй том трудов включены представленные отечественными и зарубежными участниками доклады, посвященные теоретическим основам и вопросам обучения методам Управления проектами.

В 1992 г. вышел в свет первый англо-русский и русско-английский терминологический толковый словарь в области управления проектами [П9].

В сентябре 1993 г. в Москве состоялась Международный симпозиум «Проекты и управление проектами в России и Восточной Европе». Сборник трудов этого симпозиума [П10] содержит доклады, опубликованные на языке участников (русском и английском). Для российских специалистов особый интерес представляет пленарный доклад В.И. Воропаева и М.В. Шейнберга «Проекты и управление проектами в сегодняшней России». Тематические доклады

сгруппированы по следующим направлениям: методология и опыт управления проектами; проекты и управление проектами в переходной экономике; инвестиционная деятельность и управление проектами; трансфер технологий и знаний и управление проектами.

В этом же году в России вышла книга «Управление проектами (зарубежный опыт)» [П11]. Научный редактор - проф. В.Д. Шапиро. В книге впервые в отечественной практике излагается системный подход к созданию любых объектов, будь то организация некоторой фирмы, подготовка и подписание контракта, сооружение плотины, разработка нового вида гражданской или военной техники. Книга состоит из следующих основных разделов: система управления проектом; основные функции управления проектом; основные этапы выполнения проекта; управление отдельными процессами выполнения проекта; автоматизация управления проектом; менеджер проекта: должность, призвание, профессия. Структура книги подчинена двум принципам: соблюдению системного подхода и логике разработки и реализации проектов. К моменту выхода книги Международная ассоциация по управлению проектами ИНТЕРНЕТ объединяла 19 национальных, более 160 корпоративных (отраслевых) и около 200 индивидуальных членов.

В конце 1993 г. на русском языке вышла книга «Мир управления проектами» [П12]. Книга была написана и издана в Германии в 1990 г. в связи с шестидесятилетием господина Роланда В. Гутча - основателя и многолетнего президента Международной ассоциации управления проектами ИНТЕРНЕТ. Книга не только содержит материалы по проблемам управления проектами. Само ее создание было международным проектом, в котором приняли участие 29 крупнейших специалистов в области управления проектами из 16 стран.

В сентябре 1995 г. в С.-Петербурге состоялся Международный симпозиум «Современное управление проектами: объединение профессионалов для достижения индивидуального успеха». Сборник трудов симпозиума [П13] содержит более 700 страниц и состоит из следующих разделов: пленарные доклады; методология, унификация и трансфер знаний; методы и средства управления проектами; образование и сертификация; управление стоимостью; проекты и опыт управления проектами; развитие городов и строительство; нефтяные, газовые и энергетические проекты; инвестиционные и инновационные проекты; транспортные системы. По традиции, книга издана на языке докладчиков (английском и русском).

В этом же году вышла книга президента Российской Ассоциации Управления проектами СОВНЕТ и вице-президента Международной Ассоциации Управления проектами ИНТЕРНЕТ В.И. Воропаева «Управление проектами в России» [П17]. Впервые в отечественной практике в систематизированном виде изложены методологические основы, проблемы развития и применения методов Управления проектами в специфических условиях современной России. Дается введение в круг основных понятий и краткий исторический очерк возникновения и развития Управления в России и перспективы его применения. Книга рекомендована Советом учебно-методического объединения по образованию в области

менеджмента к использованию в качестве методического пособия при подготовке специалистов в области менеджмента.

В 1996 г. под общей редакцией В.Д. Шапиро вышла книга «Управление проектами» [П14] - фундаментальный труд, содержащий более 600 страниц. Книга состоит из трех частей (введение в управление проектами; разработка проекта; управление реализацией проекта), включающих 15 глав (предпосылки перехода к управлению проектами; знакомство с миром управления проектами; начальная (прединвестиционная) фаза проекта; управление риском; планирование проекта; разработка проектно-сметной документации; материально-техническая подготовка проекта; поставки; организационные формы управления проектами; контроль и регулирование; управление изменениями; завершение проекта; качество проекта; человеческие аспекты управления проектами; информационные, программно-аппаратные и телекоммуникационные средства). Книга рекомендована Государственным Комитетом РФ по высшему образованию в качестве учебника для студентов экономических направлений и специальностей высших учебных заведений.

Таким образом, предлагаемая вашему вниманию книга В.Н. Буркова и Д.А. Новикова «Как управлять проектами» является третьей книгой российских авторов по проблеме Управления проектами. В чем же ее отличие от двух предыдущих? Для сравнения в Приложении 1 к Предисловию научного редактора представлены содержания трех сопоставляемых книг. Читатель сам может убедиться, что если авторы двух предыдущих книг отвечают на вопросы «что», «кто», «где», «когда», «почему», то авторы этой книги отвечают на вопрос «как», раскрывая механизмы управления проектами. Неискушенного читателя не должно отталкивать обилие формул в тексте книги. Они вполне доступны для понимания. Мы же хотим обратить ваше внимание на то, что если есть аналитические зависимости, пригодные для практического использования, то их можно запрограммировать и перейти от интуитивного принятия решений, основанного только на личном опыте специалистов, к компьютерной поддержке принятия решений (книга на эту тему уже готовится к изданию в нашей серии «Информатизация России на пороге XXI века»).

Мы надеемся, что предлагаемая книга В.Н. Буркова и Д.А. Новикова станет для читателя одним из «трех китов», на которых держится Управление проектами в России.

Апрель 1997 года

В.Л. Гуревич

ЛИТЕРАТУРА К ПРЕДИСЛОВИЮ НАУЧНОГО РЕДАКТОРА

П1. Project Management Body of Knowledge (PM BOK), Project Management Institute, Drexel Hill, Pennsylvania, 1987.

П2. Body of Knowledge, Association of Project Managers, INTERNET UK, Buckinghamshire, 1992.

П3. IN 69 901. Projektmanagement, Aug. 1987. Daneben hat der Normen anschluss den Begriff der Projektwirtschaft ges chaffen (Besamtheit aller einrichtungen und Mass gahmen, die dazu dienen, das Projekt zu realisieren).

П4. Dulfer, E.; Projekte und Projektmanagement im internationalen Kontext. Eine Einfuhrung, in: Projektmanagement INTERNATIONAL, Stuttgart, 1982, s. 2-30.

П5. Clealand, D.I., King, W.R. (Tds.). Projekt Management Handbook, 2nd.Ed. New York. Van Nostrand Reinhold, 1988.

П6. Projektmanagement - Fachmann, GPM und RRW, Dentschland, Eschbon, 1991, B1, B2, - 1130 s.

П7. В.И. Воропаев. Управление проектами в России. М.: «Аланс», 1995. - 225 с.

П8. Международный симпозиум «Управление проектами в СССР» 27-31 мая 1991 г. Сборник докладов. Том 1. С.249. Том 2. 193 с. М., 1992 г.

П9. Толковый словарь по управлению проектами. Под редакцией В.К. Иванец, А.И. Кочеткова, В.Д. Шапиро, Г.И. Шмаль. М., ИНСАН, 1992 г.

П10. Международный симпозиум «Проекты и управление проектами в России и Восточной Европе». Москва, сентябрь 7-10, 1993 г. Сборник трудов. Изд. АЛАНС и Российская Ассоциация Управления Проектами СОВНЕТ. 416 с.

П11. Управление проектами. Зарубежный опыт. Научный редактор профессор В.Д. Шапиро. С-Петербург, изд. «ДваТри», 1993 г., 443 с.

П12. Мир управления проектами. Под редакцией Х. Решке и Х. Шелле. Пер. с английского. Изд. «Аланс», 1993 г., 304 с.

П13. Международный симпозиум «Современное управление проектами: объединение профессионалов для достижения индивидуального успеха. С.-Петербург, сентябрь 14-16, 1995 г. Изд. «Аланс» и Российская Ассоциация Управления проектами СОВНЕТ.-728 с.

П14. Управление проектами. Под общей редакцией В.Д. Шапиро. С-Петербург. «Два-Три», 1996 - 610 с.

**ПЕРВЫЕ КНИГИ РОССИЙСКИХ АВТОРОВ
ПО УПРАВЛЕНИЮ ПРОЕКТАМИ**

Содержание книги В.И. Воропаева «Управление проектами в России»	Содержание книги В.Н. Буркова и Д.А. Новикова «Как управлять проектами»	Содержание книги под общей редакцией В.Д. Шапиро «Управление проектами»
<p>Глава 1. Введение в основные понятия. 1.1. Что такое проект? 1.2. Что такое управление проектом? Глава 2. История развития Управления проектами. 2.1. Введение. 2.2. Развитие управления проектами за рубежом. 2.3. Основные этапы развития управления проектами.. 2.4. Развитие теории управления проектами в СССР. Глава 3. Управление проектами в современной России. 3.1. Анализ тенденций в сфере Управления проектами. 3.2. Основные направления нормализации инвестиционной деятельности. 3.3. Российская Ассоциация Управления проектами СОВНЕТ. Глава 4. Перспективы развития и применения</p>	<p>Глава 1. Формирование требований к проекту и выбор вариантов. 1.1. Формирование целей и задач. 1.2. Выбор вариантов проекта. 1.3. Активная экспертиза. Глава 2. Формирование состава исполнителей и распределение ресурса. 2.1. Формирование состава исполнителей. 2.2. Распределение ресурса. Глава 3. Финансирование проекта. 3.1. Механизмы смешанного финансирования и кредитования. 3.2. Механизмы страхования. 3.3. Механизмы самоокупаемости. 3.4. Противозатратные механизмы. Глава 4. Стимулирование исполнителей. 4.1. Контрактные механизмы стимулирования. 4.2. Стимулирование в</p>	<p>Введение в управление проектами Глава 1. Предпосылки перехода к управлению проектами. Глава 2. Знакомство с миром управления проектами. Разработка проекта Глава 3. Начальная (прединвестиционная) фаза проекта. Глава 4. Управление риском. Глава 5. Планирование проекта. Глава 6. Разработка проектно-сметной документации. Глава 7. Материально-техническая подготовка проекта. Глава 8. Поставки. Управление реализацией проекта Глава 9. Организационные формы управления проектами. Глава 10. Контроль и регулирование. Глава 11. Управление изменениями. Глава 12. Завершение</p>

<p>Управления проектами в России.</p> <p>4.1. Зачем нужно управление проектами в России? Где его применять?</p> <p>4.2. Анализ структурных изменений, осуществляемых в рамках реформ в России.</p> <p>4.3. Методологические проблемы применения и развития Управления проектами.</p> <p>4.4. Где можно и нужно применять Управление проектами в России?</p> <p>4.5. Что нужно делать для развития и применения Управления проектами в России?</p>	<p>условиях неопределенности.</p> <p>4.3. Децентрализованные механизмы стимулирования.</p> <p>Глава 5. Оперативное управления.</p> <p>5.1. Пересоглашение контрактов.</p> <p>5.2. Механизмы оперативного управления риском.</p> <p>5.3. Механизмы опережающего самоконтроля.</p> <p>5.4. Компенсационные механизмы.</p>	<p>проекта.</p> <p>Глава.13. Качество проекта.</p> <p>Глава 14. Человеческие аспекты управления проектом.</p> <p>Глава 15. Информационные, программно-аппаратные и телекоммуникационные средства.</p>
---	---	---

ВВЕДЕНИЕ

В течение последних нескольких десятилетий сформировалась новая научная дисциплина - управление проектами (УП) (Project Management) - раздел теории управления социально-экономическими системами, изучающий методы, формы, средства и т.д. наиболее эффективного и рационального управления изменениями.

Более корректно, в соответствии с определением, предложенным в [9], под проектом мы будем понимать «ограниченное во времени целенаправленное изменение отдельной системы с установленными требованиями к качеству результатов, возможными рамками расхода средств и ресурсов и специфической организацией».

На протяжении многих веков человечеству приходилось реализовывать множество проектов. Возрастающая сложность проектов, с одной стороны, и накопленный опыт управления, с другой, сделали необходимым и возможным создание идеологии и методологии УП. Бурное развитие кибернетики, теории управления и исследования операций [8,10] в середине двадцатого столетия позволило создать ряд формальных моделей и тем самым заложить систематическую научную основу УП.

Можно выделить несколько основных направлений изучения УП. Во-первых, это модели и методы сетевого планирования, позволяющие определить рациональную или оптимальную последовательность выполнения работ при заданных технологических, бюджетных и других ограничениях [1, 8, 10]. Такого рода модели получили всеобщее признание, легли в основу многочисленных прикладных программ для ЭВМ и широко используются при управлении реальными проектами.

Во-вторых, это теория и практика менеджмента - систематизированный набор положений о наиболее эффективном управлении организацией, носящих обобщающий, эмпирический и интуитивный характер.

Формальные модели функционирования организаций, учитывающие специфику целенаправленного активного поведения человека-участника проекта как члена организации и коллектива, на сегодняшний день, практически, отсутствуют¹. Предлагаемая вниманию читателя книга может рассматриваться как попытка заполнить этот пробел.

Перейдем к конкретизации рассматриваемой ниже модели. Мы будем исследовать непосредственно сам проект при заданном и фиксированном внешнем глобальном его окружении (т.е. при заданных политических, социально-экономических условиях, правовой системе, научном потенциале, культуре, экологической ситуации, инфраструктуре и т.д.).

Следуя предложенной в [9] систематизации, предположим, что успешная реализация любого проекта требует решения следующих общих задач:

- определение и анализ целей проекта;

¹Исключение составляет теория активных систем (ТАС) - раздел теории управления социально-экономическими системами, изучающий свойства механизмов их функционирования, обусловленные активностью участников [4,6].

- построение, оценка и выбор альтернативных решений по реализации проекта (вариантов проекта);
- формирование структуры проекта, выбор состава исполнителей, ресурсов, сроков и стоимости работ;
- управление взаимодействием с внешней средой;
- управление исполнителями;
- регулирование хода работ (оперативное управление, внесение корректив) и т.д.

Для решения каждой из этих задач необходимо разработать соответствующие механизмы. Более того, так как участниками проекта являются люди, организации, коллективы и т.д., обладающие собственными интересами, то для построения адекватной модели системы управления необходимо учесть эти интересы, т. е. необходимо учесть возможность активного поведения участников проекта [7]. Всех участников проекта, в первом приближении, можно разделить на две группы - проект-менеджеры (ПМ) и исполнители (И).

Проект в целом и каждый из исполнителей в отдельности характеризуются следующими показателями:

- объем работ;
- качество работ;
- необходимые финансовые и материальные ресурсы;
- состав участников (кадры);
- риск;
- сроки выполнения.

Учитывая широко известные в психологии представления структуры деятельности отдельного индивида, можно предложить следующую схему взаимодействия проект-менеджера и исполнителя (отметим, что употребляемый в дальнейшем термин «управление исполнителем» соответствует «руководству исполнителем»).

В процессе взаимодействия ПМ с окружающей средой формируется (см. рисунок) социальный заказ (1) - осознанная общественная или персонифицированная необходимость изменения некоторых (или создание новых) систем и формулировка общих требований к свойствам этих систем. Относительная конкретизация этих свойств и требований к результатам, с учетом мотивации (4) и ее изменений самим ПМ, приводит к формированию цели (5) - предвосхищенного результата деятельности. Соотнесенная с условиями (2), определенными внешней средой и самим ПМ, цель превращается в набор задач (6). Последующие ответы на вопросы «что?», «в каких формах?», «как?» и «с помощью чего?» следует делать для достижения цели, т.е. выбор содержания и форм (7), методов и средств (8), соответственно, определяет результат (9).

Аналогичную структуру имеет деятельность исполнителя, с тем лишь отличием, что мотивы (21), цель (22), задачи (23), условия (17,28) и содержание - формы - методы - средства (24-25), определяются исполнителем с учетом воздействий окружающей среды (27) и управления со стороны ПМ (15-19).

На рисунке приведена схема взаимодействия ПМ и одного исполнителя. При наличии нескольких исполнителей структуры деятельности будут, в общем, аналогичны рассматриваемой (с учетом взаимодействия исполнителей).

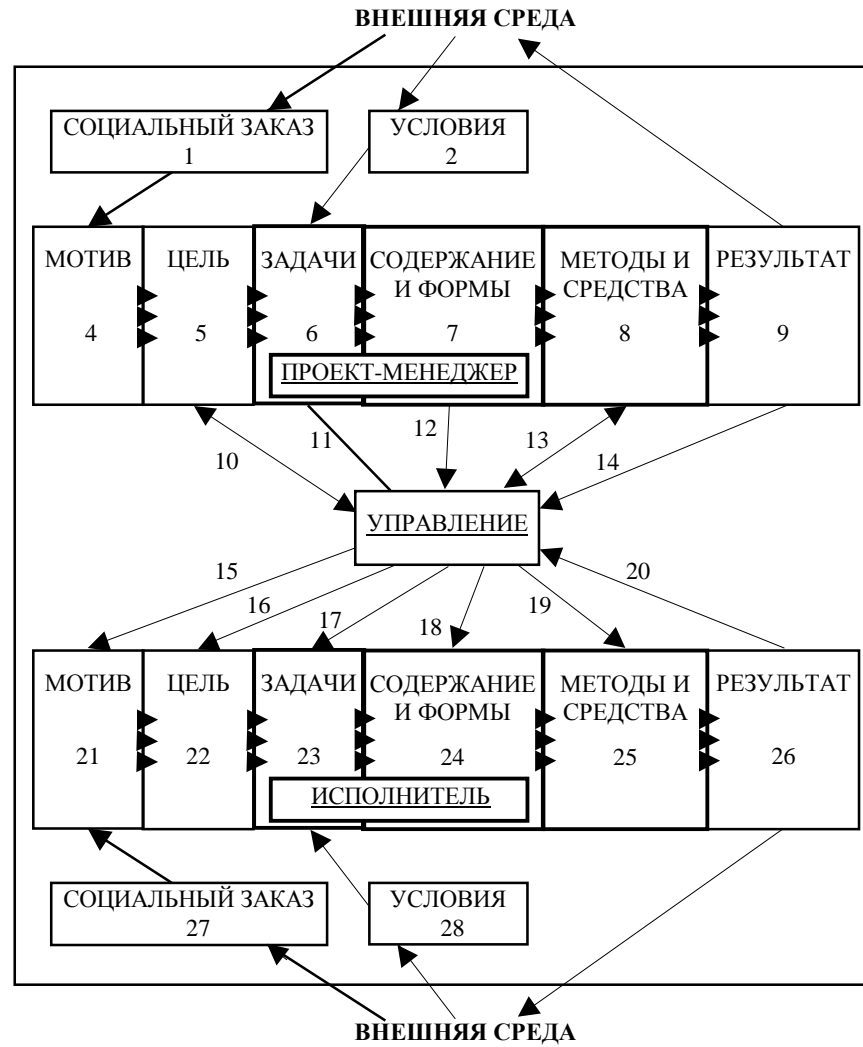


Рисунок. Представление проекта в виде структур деятельности.

В рассматриваемой модели можно качественно выделить механизмы управления двух типов. Механизмы первого типа - это управление целями, задачами, структурой, составом исполнителей и т. д. (главы 1, 2 и 3). Механизмы второго типа - это управление непосредственно исполнителями (главы 4 и 5). Соответственно времени принятия управленческих решений, механизмы первого типа синтезируются на начальных этапах процесса реализации проекта и подвергаются в дальнейшем, как правило, незначительным изменениям. Механизмы второго типа в процессе реализации проекта зачастую подвергаются существенной корректировке, в зависимости от изменяющихся условий, текущих результатов и т.д.

В блоке «Управление» можно выделить две части, соответствующие механизмам первого и второго типов. Первая часть (главы 1-3) связана с целеполаганием, формированием задач и выбором состава и структуры. Связи (10-14) отражают управление ПМ «самим собой» на основании сравнения предполагаемого результата - цели (5), собственного результата (9) и результата исполнителя (26), что является разновидностью оперативного управления (глава 5). Вторая часть блока «Управление» отражает управление исполнителем. Это управление основывается на сравнении (20) результата его деятельности (26) с целями (5) и (22) и выработке управляющих воздействий (15-19).

В общем случае, управление проектом (точнее - синтез механизмов управления) является чрезвычайно сложной задачей. Поясним это утверждение. Для синтеза механизма ПМ должен для каждого из потенциальных исполнителей (под потенциальными исполнителями понимаются люди и существующие коллективы, а также коллективы, которые могут быть сформированы для реализации данного конкретного проекта) с известными характеристиками, для всех возможных методов, средств, форм, содержаний, условий и мотивов (которые все взаимосвязаны между собой) определить допустимое множество - множество реализуемых результатов и целей. С учетом социального заказа, мотивов и целей следует ввести критерий сравнения результатов и, следовательно, критерий сравнения механизмов по эффективности, выбрать и реализовать оптимальный результат. Естественно, такая задача вряд ли может быть решена теоретически в общем виде. На практике никогда, даже при реализации самых «простых» проектов, не перебираются все возможные варианты. Поэтому, естественно, что при описании моделей механизмов управления вводятся различные упрощающие предположения.

Учитывая задачи и этапы управления, а также приведенную выше схему структуры деятельности, можно выделить следующие общие классы механизмов управления проектами (рассматриваемые в настоящей работе):

1. Механизмы формирования требований к проекту и выбор вариантов (глава 1).
2. Механизмы формирования состава исполнителей и распределения ресурса (глава 2).
3. Механизмы финансирования проекта (глава 3).

4. Механизмы стимулирования исполнителей (глава 4).

5. Механизмы оперативного управления (глава 5).

В каждой из глав, как правило, рассматривается целый набор различных механизмов. Авторы не стремились дать готовые рецепты на все случаи жизни, а предлагаемый ниже комплекс механизмов может рассматриваться как своеобразный конструктор.

Нашей целью было, во-первых, продемонстрировать возможность и целесообразность использования организационных механизмов, моделей и методов теории активных систем в управлении проектами. Во-вторых, что, наверное, более важно - показать читателю «изнутри» весь процесс синтеза механизмов управления с тем, чтобы дать менеджерам-практикам знания и умения, необходимые для того, чтобы уметь создавать и использовать механизмы УП, адекватные и эффективные в каждой конкретной ситуации.

Глава 1

ФОРМИРОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К ПРОЕКТУ И ВЫБОР ВАРИАНТОВ

На начальной стадии реализации любого проекта ПМ должен ответить для себя на вопрос - какова цель данного проекта? Как правило, ответить на этот вопрос достаточно непросто, ведь желаемый (предвосхищаемый) результат реализации проекта может оцениваться по различным, порой несравнимым, критериям. Да и сама цель проекта обычно является композицией более простых подцелей, которые, в свою очередь, могут быть подразделены на более элементарные составляющие и т.д.

В условиях ограниченности материальных, финансовых и других ресурсов, возможная степень достижения каждой из подцелей ограничена. Поэтому, представив для себя иерархию целей и их возможных комбинаций, ПМ должен конкретизировать цели, то есть выделить из них допустимые (достижимые) с точки зрения тех или иных ограничений.

Одна и та же конечная цель (результат) может быть достигнута различными путями. То есть возможны различные комбинации подцелей, реализующих проект и, следовательно, возможны различные варианты реализации проекта. Каждый из вариантов может оцениваться по некоторым количественным и качественным критериям. Для того, чтобы выбрать наилучший (оптимальный) среди допустимых вариантов, ПМ должен уметь сравнивать различные варианты.

В сложных проектах ПМ может не иметь достаточной информации для проведения сравнения различных вариантов. Поэтому необходимо привлечение квалифицированных специалистов - экспертов для проведения экспертизы различных вариантов. Если сами эксперты заинтересованы в результатах проекта, не исключено, что они могут сообщать не свое истинное мнение, а такую информацию, которая приведет к принятию наиболее выгодного для них решения. Возможность такого искажения информации должна быть учтена ПМ.

В настоящей главе приводится ряд механизмов формирования целей и задач (формирование и анализ дерева целей), выбора вариантов проекта (выбор допустимых вариантов, их сравнение и выбор оптимальных) и механизмов активной экспертизы (механизмов получения и обработки экспертной информации, учитывающих активность экспертов).

1.1. Формирование целей и задач

1.1.1. Активность поведения участников проекта и цели управления

Участники проекта - проект-менеджер и исполнители (индивидуумы, группы и организации) характеризуются способностью к активному поведению - целеполаганию, работе с различной эффективностью, искажению информации и т.д. в соответствии с собственными интересами. Например, если ПМ отдает какому-то исполнителю указание «сделай то-то и то-то», то, если эти действия

противоречат интересам исполнителя, вряд ли можно надеяться, что указание будет выполнено (в отличие от технических систем, не обладающих свободой выбора собственных состояний). Или, если, например, у исполнителя спрашивают «какие средства нужны для выполнения порученной работы?», то ответ исполнителя не всегда будет объективно отражать его реальные потребности.

Так как в настоящей работе мы описываем формальные модели управления проектами, то для создания таких моделей и синтеза механизмов, как минимум, необходимо формализовать понятие «интерес участника проекта». На сегодняшний день существует целый ряд подходов к описанию интересов участников организационной системы, использующих результаты и знания математики, экономики, психологии, социологии и других наук. Мы будем, в основном, использовать теоретико-игровое описание.

Игрой называется такой процесс взаимодействия участников системы (игроков), в котором результат каждого игрока (значение его целевой функции, функции выигрыша, функции полезности) зависит как от его собственных действий (выбираемых стратегий), так и от действий других игроков. При этом подразумевается, что интересы игроков выражены их целевыми функциями, а проявление заинтересованности проявляется в максимизации этих целевых функций выбором собственной стратегии (гипотеза рационального поведения). Понятно, что если интересы различных игроков (например, ПМ и И) различаются достаточно сильно, и если каждый из игроков следует своим интересам (максимизирует свою целевую функцию), то система может функционировать не лучшим образом. Как исправить такое положение дел? Ответ напрашивается сам собой - необходимо согласовать интересы. Сделать это можно с помощью управления, то есть искусство управления ПМ заключается в том, чтобы согласовать интересы участников (общества и ПМ, ПМ и исполнителя и т.д.) Рассмотрим пример, иллюстрирующий описание интересов ПМ и исполнителя.

Рассмотрим систему, состоящую из ПМ и одного исполнителя. Исполнитель может производить два вида продукции. Обозначим x_1 - количество произведенной продукции первого вида, x_2 - количество произведенной продукции второго вида. Предположим, что исполнитель, в зависимости от того, сколько и какой продукции произведено, получает доход $d(x_1 + x_2)$, где $d > 0$ - доход на единицу продукции, который мы в нашем примере положим равным единице, и несет затраты на производство $(x_1 + x_2)^2 / 2r$, где $r > 0$ - некоторая константа. Выпуклость функции затрат является стандартным предположением. Для простоты выбрана квадратичная зависимость. Интересы исполнителя описываются его целевой функцией, являющейся разностью между доходом и затратами, то есть:

$$f(x_1, x_2) = (x_1 + x_2) - \frac{(x_1 + x_2)^2}{2r} . \quad (1)$$

Предположим, что исполнитель стремится обеспечить такие объемы производства, чтобы значение его целевой функции было не меньше некоторой положительной константы \bar{v} ($\bar{v} \leq r/2$), то есть :

$$f(x_1, x_2) \geq \bar{v}. \quad (2)$$

Величина \bar{v} может содержательно интерпретироваться как полезность исполнителя, которую он может получить в другом месте (ничего не производя или занимаясь другим производством). Помимо обеспечения выполнения этого неравенства исполнитель стремится максимизировать $f(x_1, x_2)$ выбором (x_1, x_2) (максимум достигается при условии $x_1 + x_2 = r$).

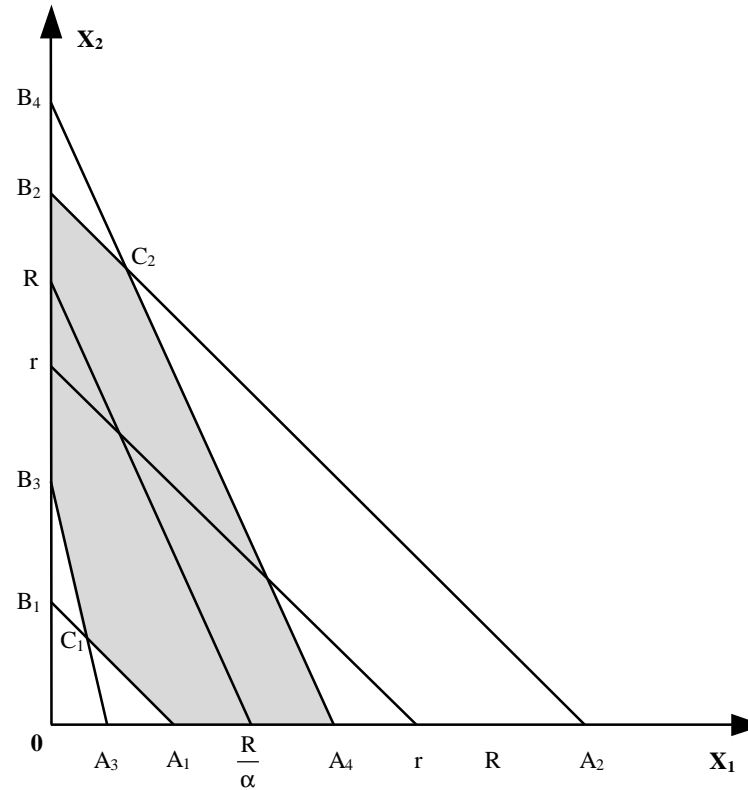


Рис. 1.

На рисунке 1 качественно изображена область $A_1B_1B_2A_2$ допустимых (с точки зрения условия (2)) значений (x_1, x_2) . Максимум достигается на прямой $x_2 = r - x_1$ (точки на рис.1. имеют следующие координаты: $A_1=B_1=r - \sqrt{r^2 - 2r\bar{v}}$; $A_2=B_2=r + \sqrt{r^2 + 2r\bar{v}}$).

Предположим, что целевая функция ПМ отличается от целевой функции И тем, что ПМ заинтересован в другой пропорции выпуска (пропорция отражена коэффициентом $\alpha > 1$) и максимум достигается при выпуске $(ax_1 + x_2) = R$, $R > r$:

$$\Phi(x_1, x_2) = (ax_1 + x_2) - \frac{(ax_1 + x_2)^2}{2R} \quad (3)$$

Интересы центра заключаются в том, чтобы обеспечить:

$$\Phi(x_1, x_2) \geq \bar{v} \quad (4)$$

и максимизировать свою целевую функцию. Область допустимых (с точки зрения условия (4)) значений (x_1, x_2) приведена на рис.1. Максимум достигается на прямой $x_2 = R - ax_1$ (точки на рис.1 имеют следующие координаты:

$$A_3 = (R - \sqrt{R^2 - 2R\bar{v}})/a; \quad B_3 = R - \sqrt{R^2 - 2R\bar{v}}; \quad A_4 = (R + \sqrt{R^2 - 2R\bar{v}})/a;$$

$$B_4 = R + \sqrt{R^2 - 2R\bar{v}}.$$

Область $A_1C_1B_3B_2C_2A_4$, закрашенная на рис.1, является областью допустимых значений. Как видно, точка P (идеальная точка - идеальная цель деятельности системы, в которой достигают максимума целевые функции и ПМ, и исполнителя) лежит внутри допустимой области, то есть достигнуто полное согласование интересов ПМ и исполнителя. Выбирая $(x_1, x_2) = P$, исполнитель обеспечивает выполнение (2) и (4) и максимизирует одновременно свою целевую функцию и целевую функцию центра.

В рассмотренном примере полное согласование интересов было достигнуто, практически, без управления со стороны ПМ. А что делать, если идеальная точка не принадлежит допустимой области, то есть в случае, когда полностью согласовать интересы без управления нельзя? Ситуации, в которых возникает необходимость

введения управления, будут качественно рассмотрены в разделе 1.2.1.

Некоторые рекомендации, какое управление следует выбирать для максимального согласования интересов, будут даны при рассмотрении механизмов стимулирования исполнителей (глава 4).

1.1.2. Механизмы функционирования организационных систем

Любой проект характеризуется набором людей и организаций, интересы которых он выражает и затрагивает. Поэтому естественно рассматривать проект как организационную систему, а задачу управления проектом формулировать как задачу управления организационной системой. Что значит - управлять организационной системой? Для ответа на этот вопрос предварительно рассмотрим ряд понятий.

Под организационной (активной) системой мы будем понимать систему, содержащую хотя бы один элемент, способный к целенаправленному (активному) поведению (см. раздел 1.1.1). Структурой организационной системы является набор элементов системы и связей (управляющих, информационных, материальных

и т.д.) между элементами системы и внешней (окружающей) средой. Структурная схема простейшей двухуровневой организационной системы веерного типа приведена на рисунке 2.

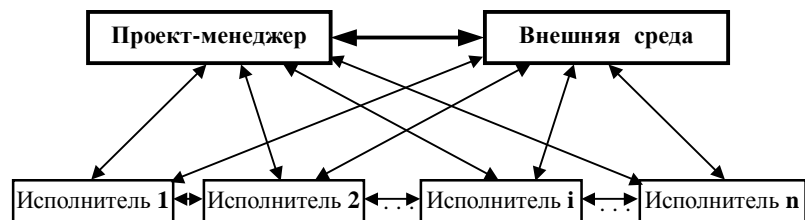


Рис. 2.

Основополагающим понятием является понятие механизма функционирования организационной системы - набора правил (процедур, инструкций, законов и т.д.) взаимодействия элементов системы. Более подробно, при заданном составе участников организационной системы и ее структуре, механизм функционирования определяется заданием:

1. Целевых функций элементов системы (системы мотивации).
2. Процедур принятия решений.
3. Порядка функционирования организационной системы (кто, кому, когда, в каком виде).
4. Информированности элементов системы.

В соответствии с описанием целей элементов, проведенным в разделе 1.1.1, их интересы выражены с помощью целевых функций, максимизация которых на допустимом множестве составляет основной принцип поведения элементов. Задание последовательности выбора стратегий (принятия решений, выбора действий и т.д.) и получения информации элементами и управляющим органом (ПМ) определяет порядок функционирования системы. Информированность элементов системы определяет, какой информацией обладает тот или иной элемент на момент выбора своей стратегии.

Как правило, факторы 3 - 4 в определении механизма функционирования заданы. Действительно, в теоретико-игровой интерпретации структуры системы, порядок функционирования и информированность элементов определяют «правила игры». При заданных правилах игроки выбирают стратегии в соответствии с собственными интересами (максимизируя целевые функции).

Управляющий орган (в управлении проектами это ПМ) заинтересован в использовании такого механизма функционирования, при котором эффективность функционирования максимальна.

Если «правила игры» заданы, то единственное, что может изменить ПМ - это целевые функции элементов системы и процедуры принятия решений. Необходимо, конечно, отметить, что в общем случае ПМ может устанавливать и

порядок функционирования, и изменять информированность элементов (исполнителей). То

есть в определении механизма функционирования организационной системы выделим «правила игры» (пп. 3 - 4) и механизм управления (в узком смысле), определяющий целевые функции элементов системы и процедуры принятия решений.

Задача, стоящая перед ПМ, более сложна, чем выбор механизма управления в узком смысле. В общем случае (механизм управления в широком смысле) включает в себя и процедуру формирования состава и структуру связей организационной системы. Действительно, прежде чем определять, как воздействовать на интересы подчиненных, ПМ должен решить - кто войдет в состав исполнителей, как они будут взаимодействовать друг с другом и с самим ПМ и т.д. Не входят в механизмы управления в узком смысле также и механизмы целеполагания, используемые ПМ на начальном этапе реализации проекта.

Настоящая работа посвящена рассмотрению механизмов управления проектами в широком смысле. Она включает описание механизмов целеполагания и выбора вариантов (настоящая глава), механизмов формирования состава исполнителей и структуры управления проектом (первая часть второй главы), и, собственно, механизмов управления в узком смысле (главы 2 - 5).

Рассмотрим следующий пример, иллюстрирующий «технологии» описания механизма функционирования организационной системы. Пусть система состоит из управляющего органа (ПМ) и двух производственных элементов (I_1 и I_2), соединенных в технологическую цепочку, т.е. продукция, выпускаемая первым исполнителем используется вторым исполнителем для производства конечного продукта.

В зависимости от количества сырья R и от затрат первого исполнителя (числа отработанных часов, например) $I_1 \in [0; +\infty)$ его выход определяется зависимостью:

$$y_1 = 2R\sqrt{I_1} . \quad (1)$$

Второй исполнитель использует выход первого как сырье и при затратах $I_2 \in [0; +\infty)$ производит y_2 единиц конечного продукта:

$$y_2 = 2y_1\sqrt{I_2} . \quad (2)$$

За каждую единицу произведенного конечного продукта каждый исполнитель получает зарплату $\sigma_1(y_2)$ и $\sigma_2(y_2)$, устанавливаемую ПМ и не превышающую в сумме величины C , и несет затраты (в денежном выражении):

$$C_1(I_1) = \frac{a_1 I_1^2}{2} \quad (3)$$

и

$$C_2(I_2) = \frac{a_2 I_2^2}{2} . \quad (4)$$

От продажи конечного продукта ПМ получает доход λy_2 , где λ - цена (стоимость исходного сырья включена в доход ПМ). Целевые функции элементов системы имеют вид:

$$\text{ПМ: } I y_2 - s_1(y_2) - s_2(y_2), \quad (5)$$

$$I_1: s_1(y_2) - C_1(I_1), \quad (6)$$

$$I_2: s_2(y_2) - C_2(I_2), \quad (7)$$

Итак, для рассматриваемого примера состав системы: ПМ, И₁, И₂. Структура системы приведена на рис.3.

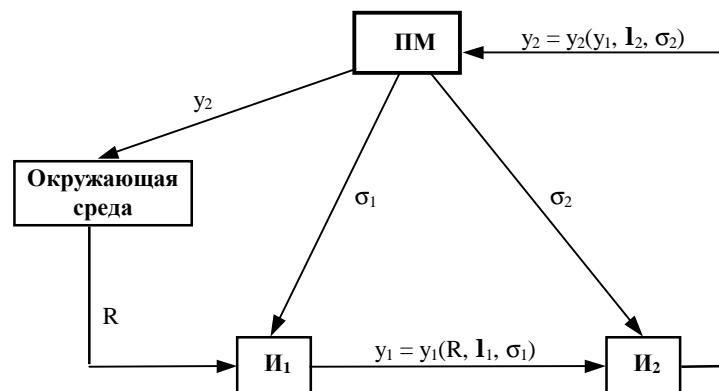


Рис. 3.

Целевые функции элементов системы задаются выражениями (5) - (7). Стратегией элементов является выбор: $\sigma_1(\cdot)$ и $\sigma_2(\cdot)$ для ПМ, I_1 - для И₁, I_2 - для И₂, максимизирующих соответствующие целевые функции. Задание «технологии» преобразования сырья и труда в продукт - (1) и (2), зависимости (3) и (4), ограничения $I_1 \geq 0$, $I_2 \geq 0$, $\sigma_1 + \sigma_2 \leq C$ определяют допустимые множества - множества возможных значений переменных $I_1, I_2, y_1, y_2, C_1, C_2, \sigma_1, \sigma_2$.

Примем следующий порядок функционирования системы:

1. ПМ сообщает исполнителям зависимости $\sigma_1(\cdot)$ и $\sigma_2(\cdot)$, т.е. зависимости зарплаты от количества произведенного продукта.
2. Первый исполнитель выбирает I_1 - сколько часов он будет работать.
3. Второй исполнитель выбирает I_2 - сколько часов он будет работать.
4. Центр продает y_2 единиц конечного продукта, получает доход и выплачивает исполнителям зарплату.

Информированность элементов системы:

1. Зависимости (1) - (7), все выбираемые стратегии и все ограничения известны и ПМ, и всем исполнителям.
2. Первый исполнитель в момент выбора I_1 помимо общих ограничений, знает $\sigma_1(\cdot)$, выбранное ПМ и величину R.
3. Второй исполнитель в момент выбора I_2 , помимо общих ограничений, знает $\sigma_2(\cdot)$ и u_1 .

Механизмом управления (в узком смысле) будет выбор зависимостей $\sigma_1(I_1)$ и $\sigma_2(I_2)$. Цель ПМ двойка: с одной стороны, он стремится максимизировать доход (5), а с другой - он должен побудить исполнителей выбрать такие действия, чтобы не разориться самому, так как условие $\sigma_1 + \sigma_2 \leq C$ в общем случае не гарантирует неотрицательности (5). Какие зависимости зарплаты от количества отработанных часов следует выбрать ПМ? Ответ на этот вопрос для рассматриваемого примера будет дан в разделе 1.2.2.

1.1.3. Механизмы комплексного оценивания

Большие проекты, вовлекающие значительное число коллективов и исполнителей, имеют, как правило, сложную иерархическую структуру. Результат реализации проекта сложным образом зависит от деятельности всех его участников. Одна из основных задач, стоящих перед руководством проекта, заключается в распределении материальных и финансовых средств между участниками проекта с целью обеспечения успешной его реализации. Что понимать под успешной реализацией проекта, по каким критериям оценивать его выполнение?

Для реализации проекта в целом, как правило, необходимо решить ряд задач (обеспечить реализацию подпроектов более низкого уровня). Решение этих задач требует решения еще более частных задач и т.д. Последовательно детализируя структуру проекта, получим дерево задач, которое мы будем называть деревом целей. Корневой его вершиной будет агрегированный показатель степени реализации проекта, висячими вершинами - показатели деятельности коллективов исполнителей - «ячеек» проекта.

Рассмотрим элементарный качественный пример, последовательная детализация которого в ходе изложения позволит иллюстрировать предлагаемую модель. Пусть проект заключается в социально-экономическом развитии региона. В качестве комплексного показателя выберем «уровень социально-экономического развития» - критерий K , который определяется «уровнем социального развития» - критерий K_3 и «уровнем экономического развития» критерий K_4 . Предположим, что последний определяется критериями «уровень жизни населения» - критерий K_1 и «экологическая ситуация» - критерий K_2 . Соответствующее данному примеру дерево целей изображено на рисунке 4.

Степень достижения каждой из целей (вершины построенного дерева) будем оценивать в некоторой дискретной шкале.

Таким образом, мы представили проект в виде дерева целей, степень достижения которых оценивается в дискретной шкале. Понятно, что оценка по критерию «уровень экономического развития» зависит от оценок (является некоторой, в общем случае нелинейной, функцией оценок) по критериям «уровень жизни» и «экологическая ситуация», оценка по общему критерию (соответствующему конечной цели проекта) «уровень социально-экономического развития», в свою очередь, зависит от оценок по критериям «уровень экономического развития» и «уровень социального развития».



Рис. 4.

Для определения оценки на некотором уровне необходимо знать правила ее получения из оценок более низкого уровня. То есть первая задача - определение правила агрегирования оценок. В качестве правила агрегирования можно использовать любые функции, связывающие оценки нижнего уровня с оценкой верхнего уровня. Мы будем использовать конкретный вид процедуры агрегирования, а именно - логические матрицы свертки.

Введем для каждого из критериев дерева дискретную шкалу. Каждому из значений этой порядковой шкалы поставим в соответствие числа 1, 2, ..., N. Емкость шкалы (число N) ничем не ограничена и число различных оценок-градаций может выбираться, во-первых, с учетом специфики проекта и показателя, а, во-вторых, с учетом того, что с ростом емкости шкалы растет вычислительная сложность оптимизационных задач. Для выбранного нами примера возьмем шкалу, состоящую из четырех возможных значений оценок - плохо (1), удовлетворительно (2), хорошо (3) и отлично (4). Теперь определим процедуру агрегирования оценок. Пусть оценка по критерию K зависит от оценок по двум критериям нижнего уровня K_3 и K_4 . Введем матрицу $A=||a_{ij}||$, где a_{ij} - оценка, например, по критерию K при оценке i по критерию K_3 и j по критерию K_4 . Размерность матрицы и число ее попарно различных элементов определяются соответствующими шкалами.

Если для рассматриваемого примера взять матрицы свертки, приведенные на рисунке 5, то, например, при получении оценки «хорошо» (3) по критерию K_1 -

«уровень жизни» и оценки «удовлетворительно» (2) по критерию K_2 - «экологическая ситуация» мы получаем агрегированную оценку «удовлетворительно» (2) по критерию K_4 - «уровень экономического развития». Если по критерию K_3 - «уровень социального развития» была достигнута оценка «отлично» (4), то итоговая оценка по критерию K - «уровень социально-экономического развития» будет - «хорошо» (3).

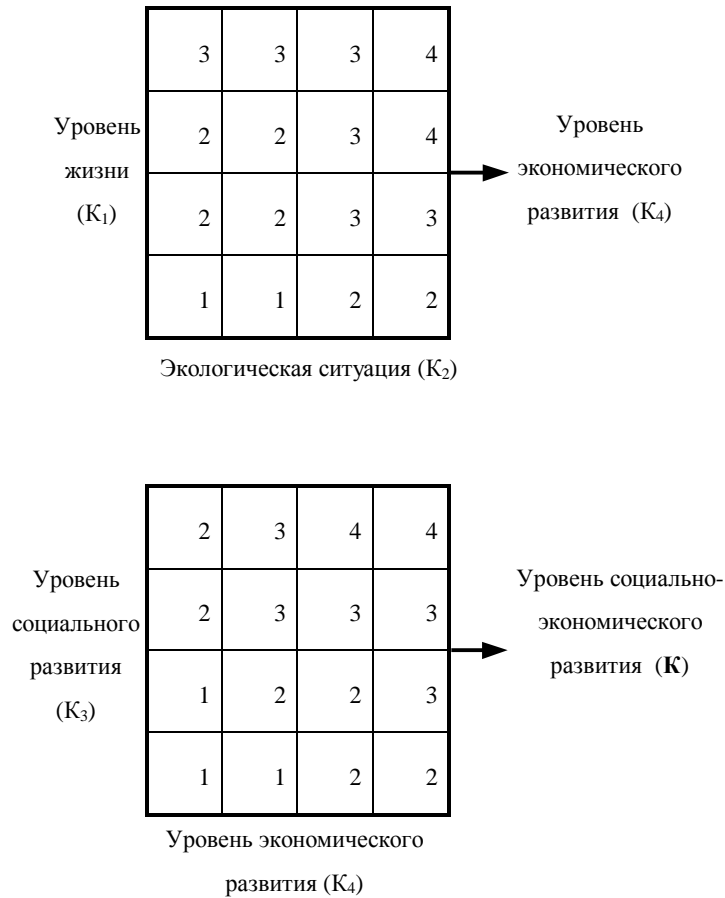


Рис. 5.

Возникает естественный вопрос - кто должен выбирать структуру дерева целей, шкалы оценок и формировать матрицы свертки? Указанные параметры

выбираются либо лицами, принимающими решения (руководитель или руководители проекта, ПМ), либо коллективом экспертов. Система логических матриц может быть легко модифицирована с учетом изменения приоритетов.

При формировании матриц агрегирования предлагается следовать правилу монотонности: агрегированная оценка, получаемая при увеличении хотя бы одной агрегируемой оценки, должна быть не меньше первоначальной. То есть при движении из левого нижнего угла матрицы вправо или вверх оценки не должны убывать.

1.2. Выбор вариантов проекта

1.2.1. Согласование интересов и задачи управления проектами

В разделе 1.1.1 отмечалось, что эффективная реализация проекта требует согласования интересов его участников (в частности, интересов ПМ и исполнителей). Если идеальная точка (в которой достигают максимума целевые функции участников проекта) принадлежит допустимой области, то возможно полное согласование интересов. Однако, в большинстве случаев это не всегда удается. Рассмотрим следующий пример (продолжив детализацию примера, описанного в разделе 1.1.1).

Приведенная на рисунке 1 допустимая область $A_1C_1B_3B_2C_2A_4$ была получена при учете ограничений на значения целевых функций ПМ и исполнителя (с учетом их интересов). Внешняя среда (общество, природа и т.д.) может накладывать дополнительные ограничения на комбинации объемов выпуска (x_1, x_2) .

Пусть, например, стоимость производства единицы продукции первого типа равна c_1 , стоимость производства единицы продукции второго типа равна c_2 ($c_2 > c_1$). Если общие средства, которые исполнитель может вложить в производство равны c , то объем выпуска должен удовлетворять условию:

$$c_1x_1 + c_2x_2 < c \quad (1)$$

Предположим, что существуют ограничения на срок, в течение которого производится продукция (пусть этот срок не должен превышать T единиц времени). Предположим, что на выпуск единицы продукции первого типа требуется T_1 единиц времени, а на выпуск единицы продукции второго типа требуется T_2 единиц времени ($T_2 > T_1$). Если возможно производить параллельно (одновременно) оба типа продукции, то общее время производства равно $\max\{T_1x_1; T_2x_2\}$. Множество пар (x_1, x_2) , удовлетворяющих ограничению на время, определяется условием:

$$\max\{T_1x_1; T_2x_2\} \leq T \quad (2)$$

На рисунке 6 представлена допустимая область для рассматриваемого примера с учетом ограничений (1) и (2) (сравните с рисунком 1). Координаты точек на рисунке 6 равны: $B_5 = c/c_2$; $A_5 = c/c_1$; $B_6 = T/T_2$; $A_6 = T/T_1$.

Легко увидеть, что идеальная точка P уже не принадлежит допустимой области (с учетом ограничений (1) и (2)) $A_1C_1C_3C_4C_5A_4$. Исполнитель, стремясь

максимизировать свою целевую функцию, будет выбирать объемы производства, лежащие внутри допустимой области и на прямой $(r; 0) - (0; r)$. Так как на этой прямой значение его целевой функции постоянно, то примем, что в силу принципа благожелательности он выберет наиболее выгодные для ПМ объемы производства, то есть точку P_1 , которая не лежит на прямой $(R/\alpha; 0) - (0; R)$, то есть не оптимальна для ПМ.

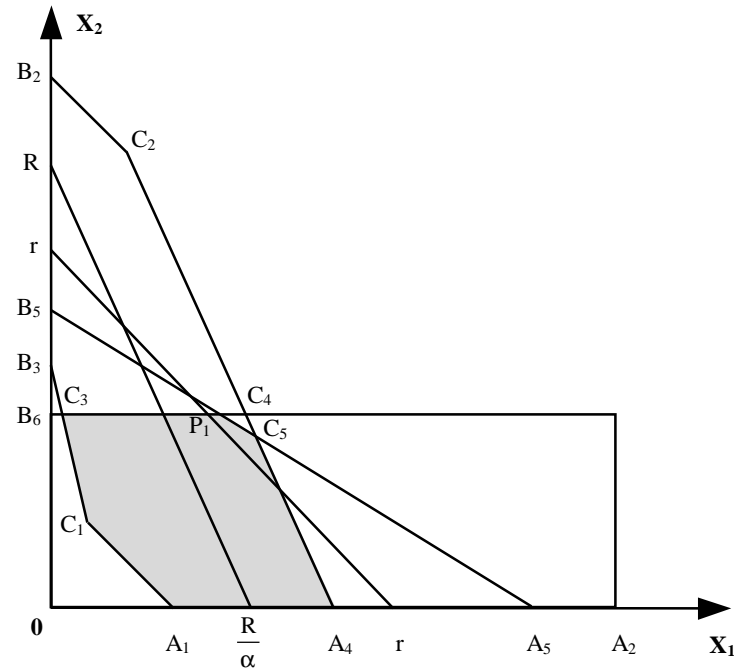


Рис. 6.

Итак, мы видим, что при введении дополнительных ограничений полного согласования интересов достичь не удастся (отметим, что пока в системе отсутствует управление). Если каждый из участников системы будет вести себя в соответствии с собственными интересами, то эффективность такой системы будет не очень высокой. Что же делать ПМ в этом случае? Ответ прост - вводить управление!

То, что управление надо вводить, действительно очевидно - управлением (стимулированием) ПМ может повлиять на интересы исполнителя и добиться большего согласования их со своими интересами. Не столь просто и очевидно определить, каким именно должно быть это управление.

Таким образом, рассмотрев качественный пример, мы убедились, что, в общем случае, интересы ПМ и исполнителя не согласованы (с учетом ограничений и целей участников). Следовательно, возникает задача управления - согласовать интересы участников проекта для повышения эффективности их совместной деятельности. Как это сделать для некоторых случаев моделей стимулирования рассматривается в главе 4.

1.2.2. Синтез оптимальных механизмов управления

В разделе 1.1.2 были даны определения механизмов функционирования и механизмов управления организационными системами (в том числе и проектами). Какой механизм управления следует использовать ПМ в каждом конкретном случае?

Задание «правил игры» - ограничений на диапазон изменения параметров модели, информированность элементов системы и последовательность принятия решений задают область возможных механизмов (допустимых с точки зрения тех или иных ограничений). При использовании каждого конкретного механизма, параметры системы принимают определенные значения. Возьмем два произвольных допустимых механизма. Для того, чтобы ответить на вопрос, какой из них следует использовать ПМ (какой механизм «лучше»), необходимо ввести такую характеристику механизма управления, как его эффективность. Под эффективностью механизма будем понимать степень достижения целей деятельности при действии этого механизма (см. введение). Если целью проекта является, например, увеличение выпуска некоторого продукта («чем больше - тем лучше»), то понятно, что большую эффективность будет иметь механизм управления, при использовании которого объем выпуска будет больше. В большинстве конкретных случаев определение эффективности, то есть формализация понятия «цели» и «степени достижения цели» является достаточно сложной задачей (см. например разделы 1.1.3 и 1.2.3).

Если определено множество допустимых механизмов и мы умеем сравнивать два произвольных механизма (на основании их эффективностей), то можно определить, что значит «самый лучший» механизм. Оптимальным механизмом управления будем называть механизм (множество механизмов), имеющий максимальную эффективность среди всех допустимых механизмов.

Таким образом, задача синтеза оптимального механизма управления заключается в поиске на множестве допустимых механизмов механизма максимальной эффективности.

Помимо эффективности, существует еще несколько характеристик механизма управления. В том числе, если выбираемые исполнителями действия (состояния) совпадают с действиями, желательными с точки зрения ПМ (такие действия называются планами), то механизм называется согласованным. Если порядок функционирования и информированность элементов предусматривают обмен информацией (передачу информации от более информированных участников системы - менее информированным), то, если элементы сообщают достоверную

информацию (не искажают данные, не манипулируют ими), механизм называется неманипулируемым. Механизм, являющийся одновременно согласованным и неманипулируемым, называется правильным [4]. Конечно, желательно, чтобы оптимальный механизм управления являлся правильным (то есть обеспечивал бы выполнение планов и сообщение достоверной информации), однако, сочетание оптимальности и правильности встречается, к сожалению, крайне редко (ряд примеров рассмотрен в настоящей книге, более полную информацию можно найти в [6]).

Вернемся к рассмотрению примера, начатого в разделе 1.1.2. Целевая функция ПМ, выражающего интересы системы в целом, имеет вид:

$$4I R\sqrt{I_1 I_2} - s_1(I_1) - s_2(I_2). \quad (1)$$

Целевые функции исполнителей, соответственно:

$$s_1(y_2) - \frac{a_1 I_1^2}{2}, \quad (2)$$

$$s_2(y_2) - \frac{a_2 I_2^2}{2}. \quad (3)$$

Эффективность механизма управления $\{\sigma_1(\cdot), \sigma_2(\cdot)\}$ определяется значением целевой функции ПМ. Предположим, что ПМ может использовать только линейные функции поощрения вида:

$$s_1(y_2) = b_1 y_2, \quad b_1 > 0. \quad (4)$$

$$s_2(y_2) = b_2 y_2, \quad b_2 > 0. \quad (5)$$

Тогда задача синтеза оптимального механизма управления будет заключаться в выборе ПМ значений $\{b_1^*, b_2^*\}$, таких, что $b_1 > 0, b_2 > 0, (b_1 + b_2)y_2^* \leq C$, где y_2^* - объем выпуска конечного продукта при использовании данного механизма, при которых выражение (1) принимает максимальное значение. Отметим, что мы получили классическую задачу стимулирования (подробно задачи стимулирования исполнителей рассматриваются в главе 4).

Таким образом, задача синтеза оптимального механизма управления имеет вид:

$$\begin{cases} 4IR\sqrt{I_1^* I_2^*} - 4b_1 R\sqrt{I_1^* I_2^*} - 4b_2 R\sqrt{I_1^* I_2^*} \rightarrow \max, \\ b_1, b_2 \end{cases} \quad (6)$$

$$\begin{cases} 4Rb_1\sqrt{I_1^* I_2^*} - \frac{a_1 I_1^{*2}}{2} \geq 4Rb_1\sqrt{I_1 I_2} - \frac{a_1 I_1^2}{2} \quad \forall I_1 \geq 0, \end{cases} \quad (7)$$

$$\begin{cases} 4Rb_2\sqrt{I_1^* I_2^*} - \frac{a_1 I_2^{*2}}{2} \geq 4Rb_2\sqrt{I_1 I_2} - \frac{a_2 I_2^2}{2} \quad \forall I_2 \geq 0, \end{cases} \quad (8)$$

$$\begin{cases} I_1, I_2 \geq 0; b_1, b_2 > 0; (b_1 + b_2)4R\sqrt{I_1^* I_2^*} \leq C. \end{cases} \quad (9)$$

Условие (6) означает, что ПМ выбором $\{b_1, b_2\}$ стремится максимизировать свою целевую функцию. Отметим, что целевая функция ПМ (1) зависит от действий исполнителей I_1^* и I_2^* , которые выбираются исполнителями из условия

максимизации собственных целевых функций (неравенства (7) и (8)). Неравенства (9) отражают ограничения на действия исполнителей и ограничения на суммарные выплаты исполнителям со стороны ПМ.

Легко заметить, что функция каждого исполнителя строго вогнута по его собственному действию (\mathbf{I}_1 и \mathbf{I}_2 соответственно). Следовательно, для любых $\{\beta_1, \beta_2\}$ точка равновесия, определяемая (7) - (8) существует и единственна. Опуская ряд тривиальных преобразований, получим:

$$\mathbf{I}_1^* = 2R \left[\frac{b_1^3 b_2}{a_1^3 a_2} \right]^{1/4}, \quad \mathbf{I}_2^* = 2R \left[\frac{b_1 b_2^3}{a_1 a_2^3} \right]^{1/4}. \quad (10)$$

Подставляя (10) в (6) и учитывая (9), решаем задачу условной оптимизации и получаем:

$$b_1^* = b_2^* = \frac{1}{4R} [a_1 a_2 C^2]^{1/4} \quad (11)$$

Таким образом, (11) дает оптимальное решение задачи синтеза механизма управления: используя линейные функции поощрения с коэффициентами b_1^* и b_2^* , ПМ добьется максимальной эффективности.

Проанализируем решение (11). Во-первых, с ростом фонда заработной платы C , растут выплаты исполнителям и растет количество часов, которое исполнителям выгодно отработать (см. (10)) при данной заработной плате. С ростом затрат (коэффициентов α_1 и α_2) также растут затраты на стимулирование, а количество часов, обрабатываемых исполнителями при фиксированном фонде заработной платы, уменьшается.

Таким образом, для того, чтобы решить задачу синтеза оптимального механизма управления, необходимо (при заданных "правилах игры" (см. раздел 1.1.2)):

- определить множество допустимых механизмов управления;
- ввести на этом множестве критерий сравнения механизмов управления - их эффективность;
- решить, собственно, задачу синтеза;
- проанализировать решение и его зависимость от параметров модели (механизма).

Отметим, что не всегда удается получить аналитическое решение (как это было сделано в рассмотренном выше примере). Зачастую для решения задачи синтеза необходимо привлечение более мощных вычислительных средств и методов.

1.2.3. Анализ вариантов проекта при использовании процедуры комплексного оценивания и выбор оптимальных вариантов

Как отмечалось во введении, каждый из исполнителей характеризуется некоторым набором показателей. Ограничимся пока рассмотрением следующих показателей: качество (которое может включать и фиксированный объем работ),

затраты (включающие необходимые финансовые и материальные ресурсы), риск и сроки выполнения. Процедура агрегирования оценок качества была описана выше в разделе 1.1.3.

Для достижения определенных значений оценок элементами-исполнителями руководство проекта должно выделить им соответствующее финансирование. Возникает задача - определить, как затраты на проект в целом зависят от затрат исполнителей в смысле соответствующих оценок качества и т.д.

Сложная структура проекта, функционирование в окружающей среде, точное описание которой, порой невозможно провести, обуславливают наличие неопределенности относительно результатов выполнения проекта. Мы не будем останавливаться на природе этой неопределенности, однако понятно, что даже при заданных затратах нельзя гарантировать с вероятностью единица получение требуемого значения оценки. Значит необходимо определить понятие риска в рассматриваемой модели и найти зависимость между риском на уровне исполнителей и риском для проекта в целом.

При фиксированной последовательности работ продолжительность реализации проекта зависит от сроков выполнения работ исполнителями. Значит необходимо описать и проанализировать эту зависимость.

Для каждого конкретного исполнителя показатели качества, затрат, риска и сроков взаимосвязаны и взаимозависимы. Для определения этих зависимостей необходимо решить задачу стимулирования: как при имеющемся фонде финансирования (стимулирования) побудить исполнителя обеспечить достижение требуемого уровня оценки или максимально возможного при данных условиях уровня. Интуитивно понятно, что чем больше финансирование, тем выше в среднем значение оценки качества и ниже уровень риска. Так как фонд финансирования ограничен, то возникает ряд оптимизационных задач: распределить ограниченный фонд для достижения заданного уровня оценки с минимальным уровнем риска, минимизировать затраты на получение заданной оценки с фиксированным уровнем риска и т.д.

Анализ качества

Следующим этапом нашего анализа является дерево оценок. Имея дерево целей

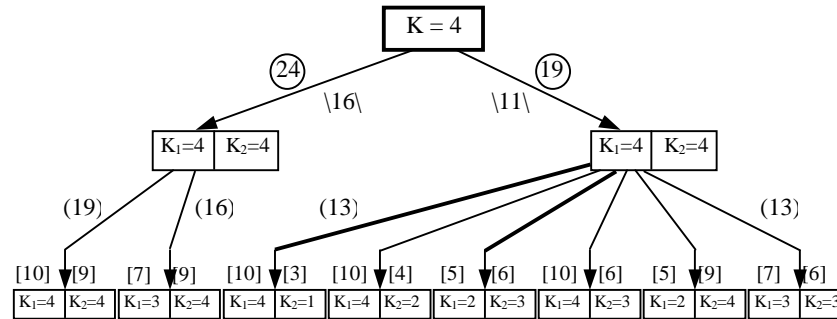


Рис. 7

и набор логических матриц для каждой из возможных итоговых оценок, определим приводящие к ним наборы оценок для элементов-исполнителей. Для этого, спускаясь по дереву целей сверху вниз, определяем на каждом уровне, какими комбинациями оценок нижнего уровня может быть получена данная оценка. Для рассматриваемого примера дерево оценок, соответствующее значению $K=4$, приведено на рис. 7. Таким образом оценка (4) может быть получена следующими комбинациями оценок по критериям (K_1, K_2, K_3): (4;4;4); (3;4;4); (4;1;4); (4;2;4); (4;3;4); (3; 3;4); (2;3;4); (2;4;4). Такие же деревья строятся и для всех других оценок.

Набор оценок нижнего уровня, приводящих к достижению требуемой итоговой комплексной оценки, назовем вариантом развития или просто вариантом.

Анализ затрат

Опишем теперь процедуру агрегирования затрат. Начиная с нижнего уровня дерева оценок (уровня элементов-исполнителей), считая заданными затраты исполнителя на достижение фиксированной оценки, двигаясь вверх, определяем вариант минимальной стоимости. Затраты на получение каждой агрегированной оценки считаются как сумма затрат на достижение агрегируемых оценок. Затраты в точке ветвления, когда есть несколько вариантов, определяются как минимум среди затрат вариантов, дающих требуемое значение оценки. Вариант минимальной стоимости определяется методом обратного хода (сверху вниз). Для рассматриваемого примера значения затрат (в условных единицах) по достижению соответствующих значений оценок качества по показателям нижнего уровня приведены на рис. 7. в квадратных скобках (отметим, что если проект

заключается не в создании новой, а в модификации существующей системы, то при определении затрат на достижения каждой оценки качества необходимо учитывать начальное состояние системы - начальную оценку качества, которая должна быть улучшена). Суммарные затраты на достижение одновременно пары оценок качества приведены для некоторых вариантов на рис. 7 в круглых скобках.

Так, например, для достижения $K_4 = 4$ существуют два варианта - ($K_1=4, K_2=4$) с затратами (19) и ($K_1=4, K_2=3$) с затратами (16). Понятно, что следует выбрать более дешевый вариант. Для достижения $K_4 = 3$ наиболее дешевым будет вариант ($K_1=2, K_2=3$) с суммарными затратами (11) (см. рис. 7). Таким образом, наименьшие затраты по достижению $K = 4$, равные (19), соответствуют варианту ($K_1=2, K_2=3, K_3=4$).

Анализ риска

Обратимся теперь к рассмотрению понятия риска для предложенной модели. Пусть для каждой из оценок каждого из критериев нижнего уровня заданы вероятности их реализации. Полную систему событий образуют реализации оценок по каждому из критериев. Вероятность реализации определенной оценки зависит, естественно, от затрат и системы стимулирования. Опишем процедуру определения вероятностей для агрегированных оценок. Сделаем следующее допущение. Пусть результаты деятельности элементов-исполнителей независимы, пусть также независимы любые две агрегируемые оценки. Тогда вероятность данного значения агрегированной оценки равна сумме произведений вероятностей тех пар оценок нижележащего уровня, которые приводят к этому значению агрегированной оценки.

Проиллюстрируем это утверждение, используя рассматриваемый пример. Пусть при некоторой системе стимулирования вероятности оценок (1,2,3,4) по критериям «уровень жизни» и «экономическая ситуация» равны $p_1=1/8; p_2=1/2; p_3=1/4; p_4=1/8$ и $q_1=1/6; q_2=1/3; q_3=1/3; q_4=1/6$, соответственно. Тогда вероятность оценки (4) по критерию «уровень экономического развития» $r_4=1/8 \cdot 1/6 + 1/4 = 1/16$. Аналогично $r_3=7/16, r_2=7/16, r_1=1/16$.

Итак, мы описали как определить вероятность каждой из оценок при агрегировании двух показателей. Легко видеть, что этот алгоритм является достаточно универсальным и непосредственно обобщается на случай агрегирования любого конечного числа критериев. Двигаясь снизу вверх (от вероятностей оценок по критериям нижнего уровня) получаем вероятности для каждой из оценок итогового, комплексного критерия.

Обсудим теперь, что же следует понимать под риском для проекта в целом. Предположим, что мы задались целью (или эта цель поставлена вышестоящей организацией) обеспечить значение комплексной оценки не меньшей, чем некоторое критическое значение. Тогда риском будет сумма вероятностей значений комплексных оценок, меньших критической. С нашей точки зрения такой подход является достаточно универсальным. В теории надежности технических систем существует понятие отказа - события, заключающегося в

том, что характеристики системы выходят за допустимые пределы. В сложных системах, особенно в социально-экономических, однозначно установить, какое значение параметра является допустимым, а какое - нет, порой достаточно сложно. В предложенной модели отказ - событие, заключающееся в том, что комплексная оценка оказалась ниже некоторого критического значения, определяемого либо экспертами, либо лицами, принимающими решения. В рассматриваемом примере если критическим будет значение $K=3$, то нормальному функционированию системы будет соответствовать не достижение, как минимум, значений $K_3=3$, $K_4=3$ по критериям нижнего уровня, а целая область, например, $K_3=3$, $K_4=2$ или $K_3=2$, $K_4=4$ и т.д.

Анализ сроков выполнения

Для каждого конкретного варианта (набора значений оценок по критериям исполнителей) будем считать заданными времена достижения соответствующих оценок. Технологические и другие ограничения определяют допустимую последовательность выполнения операций и работ и, следовательно, суммарное время реализации того или иного варианта проекта. В общем случае, общее время реализации проекта сложным образом зависит от времен выполнения отдельных работ. Задача выбора оптимальной последовательности выполнения работ с учетом всех ограничений рассматривается в сетевом планировании. Мы не будем останавливаться на описании методов сетевого планирования, отослав читателя к работам [1,8], и предположим, что решение этой задачи нам известно, то есть для каждого варианта проекта известно минимальное время его реализации.

Для рассматриваемого примера предположим, что известны времена достижения всех оценок по критериям K_1 , K_2 , и K_3 (пусть, например, для варианта минимальной стоимости, рассмотренного в разделе, анализ затрат ($K_1=2$, $K_2=3$, $K_3=4$), соответствующие времена равны $T_1 = 2$, $T_2 = 4$ и $T_3 = 5$ условным единицам). Тогда, если все работы начинаются одновременно и ведутся параллельно, то время реализации данного варианта будет равно максимальному из времен достижения требуемых оценок, то есть $T = \max \{2, 4, 5\} = 5$. Если задана последовательность выполнения работ, пусть, например, сначала требуется достичь значения $K_4 = 3$, а потом - $K_3 = 4$. В этом случае общее время реализации проекта будет равно сумме времен реализации этих оценок: $T = T_3 + T_4 = 5 + \max \{2, 4\} = 9$.

Задача стимулирования

Итак, мы описали как построить систему комплексного оценивания, дерево оценок, определить затраты варианта, его риск и сроки выполнения. Теперь необходимо связать между собой эти величины, установить характер их взаимозависимости для того, чтобы получить возможность проводить выбор

наилучшего с той или иной точки зрения варианта. Для этого кратко опишем задачу стимулирования исполнителей (более подробно см. главу 4).

Так как мы допустили, что исполнители независимы, то рассмотрим одного из них. Исполнитель имеет свои интересы, выраженные его целевой функцией. Если в системе присутствуют неопределенные и случайные факторы, то действия исполнителя неоднозначно определяют результаты его деятельности. Допустим, что и руководству проекта, и исполнителю известно распределение вероятностей результата при данном действии. Тогда вероятностью достижения некоторой оценки для исполнителя будет вероятность результата, соответствующего этой оценке при выбираемом им действии. Рассмотрим теперь, какое действие исполнитель будет выбирать. В силу гипотезы рационального поведения исполнитель выберет действие, максимизирующее ожидаемое значение его целевой функции.

Целевая функция I зависит от системы стимулирования. Под системой стимулирования понимается соответствие между результатами деятельности исполнителя и величиной выплат, получаемых им от руководства проекта. То есть выбором системы стимулирования руководство проектом имеет возможность управлять выбираемым действием, а, следовательно, и вероятностями оценок, то есть риском, а также сроками выполнения.

Итак, решив задачу стимулирования, мы определим вид взаимозависимости для исполнителей качества, затрат, риска и сроков. Теперь можно перейти к поиску оптимального варианта.

Определение оптимального варианта

Так как каждый вариант оценивается по нескольким критериям, то понятие «оптимальный вариант» неоднозначно и в рамках предложенной модели возникает целый класс оптимизационных задач.

Прежде всего определим множество допустимых вариантов. Что значит «допустимых»? Взаимосвязь между показателями исполнителей, устанавливаемая при решении задачи стимулирования, носит достаточно общий характер. Действительно, в общем случае, наверное, можно добиться очень низкого уровня риска. Другой вопрос - какие для этого потребуются затраты? С другой стороны к любому проекту априори предъявляется ряд требований. Например, может быть фиксирован срок его выполнения, ограничены затраты и риск и т.д. Вариант, удовлетворяющий этим априорным требованиям и взаимосвязи показателей исполнителей, назовем допустимым.

Опишем алгоритм поиска допустимого варианта.

1. Для каждого значения оценки качества каждого исполнителя определим минимальное финансирование, необходимое для того, чтобы он выбрал это действие, то есть решаем задачу стимулирования. Вычисляем соответствующий риск и срок выполнения.

2. Если фонд финансирования конкретного исполнителя ограничен (или к нему предъявляются другие требования), то среди полученных комбинаций

оставляем те, для которых выполнено балансовое ограничение (или те, которые удовлетворяют предъявленным требованиям).

3. Для каждой из оставленных комбинаций финансирования определяем значения суммарных затрат на финансирование, комплексной оценки, риска и срока выполнения для проекта в целом. В результате получаем множество точек в пространстве «качество, затраты, риск, сроки» - допустимую область. Каждой из таких точек соответствует допустимый вариант.

Отметим, что в качестве базового показателя выше были выбраны ресурсы (в частности, финансовые). Таким параметром может выступать любой из показателей. В результате мы получили множество допустимых вариантов.

Следующим этапом является выбор оптимального варианта. Для этого нужно (в случае, когда множество допустимых вариантов содержит более одного элемента) ввести критерии сравнения допустимых вариантов. Например, можно выбрать вариант, имеющий минимальные затраты и риск, не превосходящий заданного, или вариант, имеющий минимальные сроки реализации и затраты, не превышающие заданного значения и т.д.

Сложность предложенного алгоритма достаточно велика, однако при этом мы охватываем все возможные варианты. На практике целесообразно использовать модификации этого алгоритма, учитывающие специфику конкретной задачи. В качестве иллюстрации рассмотрим метод построения напряженных вариантов для рассматриваемого примера.

Напряженным назовем такой вариант, что недостижение оценки хотя бы по одному направлению приводит к недостижению требуемого значения комплексной оценки. Для способов получения оценки $K=4$, приведенных на рисунке 5, напряженным является вариант ($K_3=4$; $K_4=3$). Соответственно для получения значения оценки $K_4=3$ напряженными являются варианты ($K_1=4$; $K_2=1$) и ($K_1=2$; $K_2=3$). Сеть напряженных вариантов выделена на рисунке 5 двойными дугами. Затраты, риск и сроки определяются описанными выше методами.

Напряженные варианты обладают рядом достоинств. Во-первых, число возможных комбинаций сразу резко ограничивается (для рассматриваемого примера необходимо анализировать уже два варианта, а не восемь). Во-вторых, так как при использовании напряженных вариантов в системе отсутствует «избыточность», в том смысле, что отказ одного из исполнителей приводит к срыву всего проекта, есть веские основания считать, что напряженные варианты являются вариантами минимальной стоимости. И, наконец, в-третьих, так как используются оценки всех исполнителей и ни одна оценка не может быть уменьшена без потери качества (значения комплексной оценки), то для напряженных вариантов очень просто определить риск соответствующей оценки - достаточно вычислить произведение рисков всех элементов-исполнителей.

Использование напряженных вариантов особенно удобно для решения задачи минимизации величины финансирования, необходимого для достижения требуемого значения комплексной оценки. Вариант минимальной стоимости определяется с использованием простого алгоритма, описанного в разделе «анализ

затрат». Если полученный вариант минимальной стоимости имеет приемлемое значение риска, то задача решена.

1.3. Активная экспертиза

Многообразие целей и задач, решаемых исполнителями при реализации большого проекта, большое число исполнителей, их возможности и способности, требования и условия, предъявляемые окружающей средой - все это требует от ПМ владения большим количеством информации, необходимой для принятия эффективных управленческих решений. Но возможности ПМ ограничены, и он не всегда может сам непосредственно получить всю эту информацию. Поэтому возникает необходимость получения нужной информации от остальных участников проекта, окружающей среды и т.д. В управлении социально-экономическими системами, в том числе и в управлении проектами, важную роль играют механизмы экспертизы, то есть механизмы получения и обработки информации от экспертов - специалистов в конкретных областях.

На сегодняшний день известны десятки механизмов проведения опросов экспертов и обработки их мнений. Детальное их описание выходит за рамки настоящей работы. Нас будет интересовать лишь один из аспектов процедур экспертного оценивания, а именно - возможность искажения информации исполнителями.

Представим себе следующую ситуацию. ПМ хочет получить информацию, например, о производственных возможностях исполнителей. Самим исполнителям, естественно, их возможности известны, и они могут выступать в роли экспертов. Предположим, что ПМ устраивает опрос исполнителей и на основании их информации принимает решение по управлению проектом. Так как принимаемое ПМ решение непосредственно затрагивает исполнителей (а принимается оно на основе полученной от них же информации), то, скорее всего, каждый исполнитель сообщит такую информацию, которая приведет к принятию наиболее выгодного для него решения. Простейший пример - когда ПМ спрашивает у исполнителей - какое количество финансовых ресурсов необходимо для выполнения такого-то задания?, вряд ли можно надеяться, что исполнители скажут правду (особенно при нехватке финансов).

Т.е., мы видим, что эксперты могут исказить информацию (манипулировать данными) в соответствии с собственными интересами. Такое их поведение называется активным, отсюда название этого раздела - активная экспертиза. Для ПМ желательно построить такой механизм (процедуру), при котором все эксперты говорили бы правду (такой механизм называется неманипулируемым). Возможно ли это? В ряде случаев оказывается, что возможно.

1.3.1. Неманипулируемые механизмы экспертизы

Пусть имеются n экспертов, оценивающих какой-либо объект по скалярной шкале (объектом может быть кандидат на пост руководителя, вариант

финансирования и т.д.). Каждый эксперт сообщает оценку $d \leq s_i \leq D$, $i = \overline{1, n}$, где d - минимальная, а D - максимальная оценка. Итоговая оценка $x = \pi(\sigma)$, на основании которой принимается решение, является функцией оценок, сообщенных экспертами, $\sigma = (\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n)$. Обозначим r_i - субъективное мнение i -ого эксперта, то есть его истинное представление об оцениваемом объекте. Предположим, что процедура $\pi(\sigma)$ формирования итоговой оценки является строго возрастающей функцией σ_i , $\pi(a, a, \dots, a) = a$, $\forall a \in [d, D]$.

Обычно предполагается, что каждый эксперт сообщает свое истинное мнение r_i . При этом если каждый из экспертов немного ошибается (несознательно и в

зависимости от своей квалификации), то, например, средняя оценка: $\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n r_i$ -

итоговое мнение достаточно объективно и точно оценивает объект. Если эксперты заинтересованы в результатах экспертизы, то они не обязательно будут сообщать свое истинное мнение, то есть механизм $\pi(\cdot)$ может быть подвержен манипулированию ($\sigma_i \neq r_i$).

Формализуем интересы эксперта. Предположим, что каждый эксперт заинтересован в том, чтобы результат экспертизы был максимально близок к его объективному мнению, то есть примем в качестве целевой функции i -ого эксперта:

$$f_i(x, r_i) = |x - r_i|, \quad i = \overline{1, n} \quad (1)$$

При этом эксперт будет сообщать оценку σ_i , доставляющую минимум

$$|x(s_1, \dots, s_i, \dots, s_n) - r_i|.$$

Приведем пример манипулирования. Пусть $n=3$, $d=0$, $D=1$, $r_1=0.4$, $r_2=0.5$, $r_3=0.6$, и ПМ использует следующий механизм обработки оценок:

$x = p(s) = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^n s_i$. Если $s_i \equiv r_i, i = \overline{1, 3}$, то есть если все эксперты сообщают

правду, то $x = 0.5$. При этом итоговая оценка совпала с истинным представлением второго эксперта, и он удовлетворен результатом полностью. Остальные же

эксперты (первый и третий) неудовлетворены, так как $r_1 < 0.5$, а $r_3 > 0.5$. Следовательно, они попытаются сообщить другие σ_1 и σ_3 . Пусть они сообщают

$s_1^* = 0, s_2^* = 0.5, s_3^* = 1$. $x^* = p(s_1^*, s_2^*, s_3^*) = 0.5$. Получили ту же итоговую оценку.

Опять первый и третий эксперты неудовлетворены. Посмотрим, могут ли они поодиночке изменить ситуацию. Если $s_1 \neq s_1^*$, а $s_2 = s_2^*, s_3 = s_3^*$, то

$p(s_1, s_2^*, s_3^*) > x^*$, следовательно, первый эксперт, изменяя свою оценку, еще

более удаляет итоговую оценку от собственного истинного мнения. То же можно

сказать и о третьем эксперте: $p(s_1^*, s_2^*, s_3) < x^*$, если $s_3 \neq s_3^*$. Т.е., отклоняясь

поодиночке от сообщения σ^* , ни один из экспертов не может приблизить итоговую

оценку к своему субъективному мнению. Значит $\sigma^* = (0; 0,5; 1)$ - равновесие Нэша [6].

Определим следующие числа: $w_1 = \pi(d, D, D) = \pi(0, 1, 1) = 2/3$; $w_2 = \pi(d, d, D) = \pi(0, 0, 1) = 1/3$ (отметим, что $\pi(0, 0, 0) = 0$ и $\pi(1, 1, 1) = 1$). При этом $w_2 \leq r_1 \leq w_1 (1/3 \leq 1/2 \leq 2/3)$. То есть на отрезке $[w_2, w_1]$ эксперт номер два является «диктатором с ограниченными полномочиями» (его полномочия ограничены границами отрезка). Построим теперь для рассматриваемого примера механизм, в котором всем экспертам выгодно сообщить достоверную информацию, и итоговая оценка в котором будет та же, что и в механизме $p(\cdot)$.

ПМ может попросить экспертов сообщить истинные значения $r = \{r_i\}$ и использовать их следующим образом (эквивалентный прямой механизм): если существует число q , $w_{q-1} \geq r_{q-1}$; $w_q \leq r_q$, $q = \overline{2, n}$ (легко показать, что существует единственный эксперт с таким q), то $x^* = \min(w_{q-1}, r_q)$. В нашем примере $q=2$, и $1/2 = \min(2/3; 1/2)$.

При этом, очевидно, $s_i^* = d, i > q, s_i^* = D, i < q$ (отметим, что мы упорядочиваем экспертов в порядке возрастания r_i , то есть $r_1 < r_2 < r_3$). Итак, по сообщению r ПМ, воспользовавшись числами w_1 и w_2 , восстановил равновесие Нэша σ^* .

Проверим, могут ли эксперты, сообщая $r_i \neq r_i$ «улучшить» (со своей точки зрения) итоговую оценку. Очевидно, что второму эксперту изменять $r_i \equiv r_i$ невыгодно, так как $x^*(r_1, r_2, r_3) \equiv r_2$. Пусть первый эксперт сообщает $r_1 < r_1$. Для определенности положим $r_1 = 0,2$. Ситуация не изменится - по-прежнему «диктатором» является второй эксперт. Если $r_1 > r_1$, то первый эксперт может изменить итоговую оценку только став «диктатором», то есть, сообщив $r_1 > r_2$. Тогда ПМ определит $p(r_1, r_2, r_3) = r_1$, но при этом $|r_1 - r_1| > |r_1 - r_2|$, то есть первый эксперт еще более удалил исходную оценку от r_1 . То есть, изменяя сообщение r_1 , первый эксперт не может приблизить свою итоговую оценку к r_1 . Аналогично можно показать, что не может манипулировать и третий эксперт.

Таким образом, мы показали, что в эквивалентном прямом механизме сообщение достоверной информации является равновесием Нэша для экспертов, причем итоговая оценка та же, что и в исходном механизме.

Перейдем теперь к рассмотрению общего случая (произвольного числа экспертов). Пусть все r_i различны и упорядочены в порядке возрастания, то есть $r_1 < r_2 < \dots < r_n$ и x^* - равновесие Нэша ($x^* = \pi(\sigma^*)$). По аналогии с рассмотренным выше примером можно показать, что если, $x^* > r_i$, то $s_i^* = d$, если $x^* < r_i$, то $s_i^* = D, i = \overline{1, n}$. Если же $d < s_i^* < D$, то $x^* = r_i$. При этом, если $x^* = r_q$, то $s_j^* = d \forall j < q, s_j^* = D \forall j > q$, а сама величина s_q^* определяется из условия

$$p \left(\underbrace{d \cdot d \cdot \dots \cdot d}_{q-1}, s_q^*, \underbrace{D \cdot D \cdot \dots \cdot D}_{n-q} \right) = r_q. \quad (2)$$

Таким образом, для определения ситуации равновесия достаточно найти номер q . Для этого найдем $(n-1)$ число:

$$w_i = p \left(\underbrace{d \cdot d \cdot \dots \cdot d}_{q-1}, \underbrace{D \cdot D \cdot \dots \cdot D}_{n-q} \right), \quad i = \overline{1, n-1}. \quad (3)$$

При этом $w_0 = D > w_1 > w_2 > \dots > w_n = d$, и если $w_i \leq r_i \leq w_{i-1}$, то $x^* = r_i$, то есть i -ый эксперт является диктатором на отрезке $[w_i, w_{i-1}]$. Легко показать, что существует единственный эксперт q , для которого выполнено:

$$w_{q-1} \geq r_{q-1}, w_q \leq r_q. \quad (4)$$

Определив таким образом q , можно найти итоговую оценку в равновесии:

$$x^* = \min(w_{q-1}, r_q).$$

ПМ может, используя следующий эквивалентный прямой механизм, найти равновесие S^* с помощью следующего алгоритма:

1. Определить $\{w_i\}, i = \overline{1, n}$.
2. Определить q из условия (4).
3. Определить s_q^* из условия (2).
4. Положить $s_j^* = d \forall j > q, s_j^* = D \forall j < q$.

По аналогии с рассмотренным выше примером можно показать, что сообщение достоверной информации ($r_i = r_i$) является равновесием Нэша.

Мы, фактически, доказали, что для любого механизма экспертизы $\pi(\cdot)$ можно построить эквивалентный прямой механизм, в котором сообщение достоверной информации является равновесием Нэша.

Таким образом, использование эквивалентных прямых механизмов позволяет организовывать процедуры экспертного оценивания, выявляющие истинные предпочтения экспертов.

В последующих двух параграфах приводятся еще два типа неманипулируемых механизмов активной экспертизы (которые отличаются от рассмотренного выше механизма структурой целевых функций экспертов).

1.3.2. Механизмы согласия

Рассмотрим механизм экспертного оценивания, в котором результатом коллективного решения является распределение финансирования между исполнителями. Решение принимается коллегиально экспертным советом, члены которого - представители исполнителей - выступают в качестве экспертов для оценки обоснования объемов финансирования (в качестве экспертов могут привлекаться и независимые эксперты, а не только представители исполнителей).

Очевидно, что каждый эксперт имеет собственное представление о распределении имеющегося (ограниченного) объема финансирования, и мнения различных экспертов редко совпадают. Как принимать решение в этом случае? Как уйти от ситуации, когда каждый эксперт «тянет одеяло на себя» и может искажать информацию?

Механизм принятия согласованных решений при наличии несовпадающих точек зрения получил название механизма согласия.

Недостатки используемых на практике механизмов финансирования, основывающихся на экспертных оценках, очевидны. Как правило, сумма заявок превышает имеющийся ресурс и на ПМ ложится тяжесть «урезания» объемов финансирования. Тенденция завышения заявок имеет место и в случае независимых экспертов. Как преодолеть эти негативные явления?

Опишем механизм согласия. Основная идея заключается в декомпозиции процедуры экспертизы, то есть создаются экспертные советы по смежным проблемам, одна из которых является базовой. Так, в частности, для примера, рассмотренного в разделе 1.1.3, есть три критерия - «уровень жизни» (K_1), «экологическая ситуация» (K_2), «социальное развитие» (K_3). Выберем в качестве базового, например, уровень социального развития. В этом случае создаются два экспертных совета - каждый для пары критериев. Первый экспертный совет занимается оценкой направлений (критериев) K_1 и K_3 , а второй - K_2 и K_3 . Каждый экспертный совет вырабатывает решение об относительных размерах финансирования каждого из направлений. А именно, во сколько раз финансирование по направлению K_1 (соответственно, K_2) должно быть больше (или меньше), чем финансирование по базовому направлению K_3 . Обозначим соответствующие оценки σ_1 и σ_2 . Величина σ_1 (σ_2) свидетельствует о том, что финансирование x_1 (x_2) по направлению K_1 (K_2) должно быть в σ_1 (σ_2) раз больше, чем финансирование по направлению K_3 , то есть $\sigma_1 = x_1/x_3$ ($\sigma_2 = x_2/x_3$). Очевидно, что $s_i \geq 0$, $i = \overline{1,2}$. На основе этой информации определяется вариант финансирования направлений:

$$x_i = \frac{s_i}{1+s}, \quad i = \overline{1,3}, \quad (1)$$

где $\sigma = \sigma_1 + \sigma_2$, $\sigma_3 \equiv 1$. Отметим, что x_i - доля от имеющегося общего объема финансирования. То есть, если между направлениями K_1 , K_2 и K_3 необходимо распределить R единиц ресурса, то i -е направление получит $x_i R$.

Предложенный механизм обладает рядом достоинств. Во-первых, учитывается мнение самих исполнителей, входящих в экспертные советы. Во-вторых, выделение базового направления позволяет произвести обмен результатами и опытом между исполнителями и экспертами. И, наконец, в-третьих, что наиболее важно, предложенный механизм согласия защищен от манипулирования. Проиллюстрируем последнее утверждение на следующем примере.

В таблице 1 приведены истинные относительные объемы финансирования направлений K_1 и K_2 относительно базового направления K_3 .

Таблица 1.

Экспертные советы	Направления		
	К ₁	К ₂	К ₃
1	r ₁₁ =3	r ₁₂ =1	1
2	r ₂₁ =3	r ₂₂ =4	1

Для полноты картины мы привели мнения экспертов и по тем вопросам, которые они не оценивают (информация о r_{12} и r_{21}). Видно, что эксперты считают собственные направления гораздо более важными и заслуживающими большего финансирования, чем базовое направление ($r_{11} = 3 > 1$, $r_{21} = 4 > 1$).

Пусть общий объем финансирования равен 100 условным единицам. Если экспертные советы представят достоверную информацию, то финансирование будет распределено следующим образом:

$$x_1(r_{11}, r_{22}) = \frac{3}{8} \cdot 100 = 37,5; \quad x_2(r_{11}, r_{22}) = \frac{4}{8} \cdot 100 = 50;$$

$$x_3(r_{11}, r_{22}) = \frac{1}{8} \cdot 100 = 12,5.$$

Отметим, что балансовое ограничение выполняется «автоматически» при любых сообщениях ($x_1 + x_2 + x_3 = R$; $37,5 + 50 + 12,5 = 100$).

С точки зрения первого экспертного совета распределение объемов финансирования должно быть следующим:

$$x_1(r_{11}, r_{12}) = \frac{3}{5} \cdot 100 = 60; \quad x_2(r_{11}, r_{12}) = \frac{1}{5} \cdot 100 = 20;$$

$$x_3(r_{11}, r_{12}) = \frac{1}{5} \cdot 100 = 20.$$

С точки зрения второго экспертного совета распределение объемов должно быть таким:

$$x_1(r_{21}, r_{22}) = \frac{3}{8} \cdot 100 = 37,5; \quad x_2(r_{21}, r_{22}) = \frac{4}{8} \cdot 100 = 50;$$

$$x_3(r_{21}, r_{22}) = \frac{1}{8} \cdot 100 = 12,5.$$

Т.е. финансирование, принятое при сообщении достоверной информации, полностью совпадает с мнением второго экспертного совета (в данном примере). Первый же совет считает, что направление К₁ должно получить больше (60 > 37,5), К₂ - намного меньше (20 < 50), а К₃ - чуть больше (20 > 12,5).

Очевидно, что первый экспертный совет хотел бы увеличить объем финансирования по первому и третьему проектам за счет второго. Посмотрим, может ли он манипулируя, то есть сообщая $\sigma_1 \neq r_1$, добиться этого.

Пусть, например, первый экспертный совет сообщил завышенную оценку $\sigma_1 = 5$. Тогда финансирование распределится следующим образом:

$$x_1(s_1, r_{22}) = \frac{5}{10} \cdot 100 = 50; \quad x_2(s_1, r_{22}) = \frac{4}{10} \cdot 100 = 40; \quad x_3(s_1, r_{22}) = \frac{1}{10} \cdot 100 = 10.$$

Вряд ли такое распределение финансирования удовлетворит представителей третьего направления. Да и первый экспертный совет вряд ли останется доволен, ведь он хотел увеличить и свое финансирование, и финансирование третьего направления (необходимо подчеркнуть, что «забота» о базовом направлении как раз и определяет неманипулируемость механизма).

Рассмотрим другой вариант манипулирования. Пусть первый экспертный совет занижает оценку и сообщает $\sigma_1=1$. Тогда:

$$x_1(s_1, r_{22}) = \frac{1}{6} \cdot 100 = 16, (6); \quad x_2(s_1, r_{22}) = \frac{4}{6} \cdot 100 = 66, (6);$$

$$x_3(s_1, r_{22}) = \frac{1}{6} \cdot 100 = 16, (6).$$

При этом первый экспертный совет увеличил финансирование третьего направления, но зато увеличил финансирование второго и, что самое главное, уменьшил свое финансирование.

Мы рассмотрели случай, когда $\sigma_1=1$ и $\sigma_1=5$. Можно показать, что сообщая $\sigma_1 \neq \tau_1$, первый экспертный совет не может одновременно увеличить финансирование первого и третьего направлений за счет второго.

Теперь определим целевую функцию i -го экспертного совета ($i = 1, 2$):

$$f_i(r_i, x_i, x_j) = \min_j \left\{ \frac{x_j}{r_{ij}} \right\}, \quad j = \overline{1,3}; \quad i = 1, 2 \quad (2)$$

Если каждый экспертный совет заинтересован в максимизации своей целевой функции, то, например, для первого экспертного совета в рассматриваемом примере $f_1 = \min\{x_1/r_{11}; x_2/r_{12}; x_3/r_{13}\}$ достигает максимума именно при сообщении $\sigma_1 \equiv \tau_1$.

Структура целевой функции (2) такова, что каждый экспертный совет стремится минимизировать наибольшее из отклонений реального и «справедливого» с его точки зрения объема финансирования. Можно показать, что сообщение достоверной информации максимизирует целевые функции типа (2) (является доминантной стратегией) в случае произвольного числа экспертов при достаточно общих предположениях.

Одно из предположений (гипотеза достаточной заинтересованности (ДЗ)), в частности, заключается в том, что оценка каждого экспертного совета по своему направлению превышает истинные оценки этого направления другими экспертами. Иначе говоря, каждый из экспертов считает свое направление наиболее важным. В рассмотренном выше примере эта гипотеза была выполнена ($r_{11}=3 > r_{12}=1; r_{22}=4 > r_{21}=3$). Таким образом, если эксперты имеют целевые функции типа (2), то механизм согласия является неманипулируемым. Если направлений всего три, то всегда можно выбрать базовое так, что гипотеза ДЗ выполнена.

В случае, когда экспертных советов (направлений) больше чем три, целесообразно структуризировать экспертные советы в иерархию по «тройкам».

Как разбить экспертные советы на «тройки», чтобы в них попали эксперты, заинтересованные друг в друге (а целевая функция вида (2) подразумевает такую заинтересованность) - в этом заключается искусство ПМ.

1.3.3. Многоканальные механизмы активной экспертизы

В последнее время широкое распространение получили механизмы поддержки принятия решений (ППР), отличительной особенностью которых является формирование решений (рекомендаций) в нескольких параллельных блоках (каналах) формирования решений «советниками» - экспертами. Такие механизмы получили название многоканальных. Причиной их достаточно высокой эффективности является взаимодействие каналов, то есть взаимодействие экспертов. Как побудить экспертов повышать эффективность предлагаемых решений, как на основании их советов выработать наилучшее управленческое решение? Одним из способов является применение систем сравнительных оценок эффективности решений каналов и их стимулирование по результатам этого сравнения. В настоящем разделе рассматривается несколько моделей многоканальных механизмов активной экспертизы.

Многоканальные механизмы, использующие модели управляемой системы

Если ПМ хочет стимулировать экспертов на основании эффективности предлагаемых ими решений, то, естественно, ему необходимо знать, а что было бы, если бы было использовано управление (решение), предложенное каждым конкретным экспертом? Проводить эксперименты и смотреть, как ведет себя управляемая система при различных управлениях в большинстве случаев не представляется возможным. Значит необходимо использовать модель управляемой системы. Рассмотрим следующий пример.

Пусть эффективность \mathcal{E} принятого управленческого решения U зависят от параметров модели и окружающей среды q , не известных априори ПМ. Предположим, что $\mathcal{E} = U - U^2/2q$. Если ПМ использует решение U_0 и фактическая эффективность оказывается равной \mathcal{E}_0 , то можно оценить реализовавшееся значение неизвестного параметра: $q = U_0^2 / 2(U_0 - \mathcal{E}_0)$. Подставляя эту оценку в исходное выражение для эффективности, получим формулу, определяющую, какова была бы эффективность i -го эксперта \mathcal{E}_i если бы использовалось предложенное им управление U_i (пусть имеются n экспертов):

$$\mathcal{E}_i(U_i) = U_i - \frac{U_i^2}{U_0^2}(U_0 - \mathcal{E}_0), \quad i = \overline{1, n}.$$

Как следует стимулировать экспертов? Наверное, на основании оценок $\mathcal{E}_i(U_i)$ (отметим, что если $U_i = U_0$, то $\mathcal{E}_i = \mathcal{E}_0$), то есть чем выше эффективность предложенного решения, тем больше должно быть вознаграждение эксперта. Введем $\mathcal{E}_i^* = \mathcal{E}_i(U_i)$ - нормативную эффективность, равную максимальной

эффективности. В простейшем случае стимулирование ПМ зависит от эффективности \mathcal{E}_0 принятого им решения U_0 и нормативной эффективности:

$$f_0 = \mathcal{E}_0 - \begin{cases} a(\mathcal{E}_0 - \mathcal{E}_m), & \text{если } \mathcal{E}_0 \geq \mathcal{E}_m, \\ b(\mathcal{E}_m - \mathcal{E}_0), & \text{если } \mathcal{E}_0 \leq \mathcal{E}_m, \end{cases} \quad 0 < a < 1, \quad b > 0.$$

То есть, если решение ПМ оказалось лучше наиболее эффективного решения, предложенного экспертами ($\mathcal{E}_0 \geq \mathcal{E}_m$), то ПМ поощряет пропорционально величине ($\mathcal{E}_0 - \mathcal{E}_m$). Если эффективность \mathcal{E}_0 оказалась ниже эффективности решений, предложенных экспертами, то поощрение пропорционально ($\mathcal{E}_m - \mathcal{E}_0$).

Стимулирование самих экспертов производится аналогичным образом на основе сравнения \mathcal{E}_i и \mathcal{E}_0 или \mathcal{E}_i и \mathcal{E}_m :

$$f_i = \mathcal{E}_i - \begin{cases} a(\mathcal{E}_i - \mathcal{E}_0), & \text{если } \mathcal{E}_i \geq \mathcal{E}_0, \\ b(\mathcal{E}_0 - \mathcal{E}_i), & \text{если } \mathcal{E}_i \leq \mathcal{E}_0, \end{cases} \quad 0 < a < 1, \quad b > 0.$$

Какими следует выбирать коэффициенты α и β в функциях стимулирования? Приведем следующие рассуждения. Не исключена ситуация, в которой ПМ, имея возможность влиять на фактическую эффективность \mathcal{E}_0 принятого им решения U_0 , сознательно уменьшит эту эффективность для того, чтобы изменить соответственно оценки эффективностей каналов (экспертов). Когда может возникнуть такая ситуация? В большинстве моделей управляемых систем существует монотонная зависимость между эффективностью \mathcal{E}_0 и эффективностью каналов. В рассматриваемом примере (см. формулу выше) чем больше \mathcal{E}_0 , тем больше \mathcal{E}_i . Если эффективность решения ПМ \mathcal{E}_0 выше нормативной ($\mathcal{E}_0 \geq \mathcal{E}_m$), то целевая функция ПМ:

$$f_0 = (1 - a)\mathcal{E}_0 + a\mathcal{E}_m,$$

является возрастающей функцией \mathcal{E}_0 и, следовательно, ПМ не заинтересован в занижении \mathcal{E}_0 . Проблемы появляются, если $\mathcal{E}_0 < \mathcal{E}_m$, то есть, если решение ПМ менее эффективно, чем решения экспертов. В этом случае:

$$f_0 = (1 + b)\mathcal{E}_0 - b\mathcal{E}_m,$$

и ПМ может быть заинтересован в снижении эффективности каналов \mathcal{E}_i , а соответственно, и в снижении \mathcal{E}_m .

В рассматриваемом примере, в этом случае, целевая функция ПМ имеет вид

$$f_0 = b U_m \left(\frac{U_m}{U_0} - 1 \right) + \mathcal{E}_0 \left(1 + b - b \frac{U_m^2}{U_0^2} \right).$$

Если $U_m > U_0$ ($\mathcal{E}_0 < \mathcal{E}_m$), и β достаточно велико, то ПМ заинтересован в снижении фактической эффективности \mathcal{E}_0 . Для того, чтобы исключить такую заинтересованность, β не следует брать слишком большим, а именно

$$b < \frac{U_0^2}{(U_m^2 - U_0^2)}.$$

Большие штрафы (большая величина β) в случае, если решение ПМ хуже нормативного, нежелательны также, с той точки зрения, что ПМ, не желая «ошибиться», может просто предпочесть выбрать одно из решений, предложенных

экспертами. Понятно, что это приведет к нежелательной потере самостоятельности и инициативности ПМ.

Автономные механизмы экспертизы

В предыдущем разделе стимулирование экспертов осуществлялось на основе сравнения эффективностей предлагаемых решений, оцениваемых с помощью модели управляемой системы. Однако иногда управляемая система настолько сложна, что построить ее адекватную модель достаточно трудно. Как поступить в этой ситуации ПМ? Одним из способов является «переложить всю тяжесть» по решению задачи управления на экспертов, получить от них одно согласованное решение, а не несколько, и использовать именно его. Рассмотрим, в каких условиях можно побудить экспертов работать автономно, согласовывать решения и предлагать ПМ наилучшее решение.

Пусть от экспертов требуется предложить решение, как поступить в некоторой конкретной ситуации. В силу различного образования, опыта и т.д. одни эксперты могут оказаться более квалифицированными в одной области, другие - в другой, в зависимости от ситуации, для которой необходимо предлагать решение (т.е. в зависимости от области возможных ситуаций). На рис. 8 качественно изображена зависимость эффективности решений $\mathcal{E}_i(x)$, которые может предложить i -й эксперт ($i = \overline{1, n}$), от ситуации X .

ПМ хотел бы, чтобы в любой ситуации предлагаемое экспертами решение было наиболее эффективным, то есть желательно, чтобы эффективность коллектива экспертов имела вид:

$$\mathcal{E}(x) = \max_{i=\overline{1, n}} \{ \mathcal{E}_i(x) \}$$

(графиком является огибающая кривых на рис.8). Предположим, что каждый из экспертов знает собственную эффективность $\mathcal{E}_i(x)$ и не знает эффективностей остальных экспертов (следовательно, каждый может исказить информацию), но все эксперты точно идентифицируют ситуацию X . Как ПМ может побудить экспертов предпочесть в любой ситуации наиболее эффективное решение?

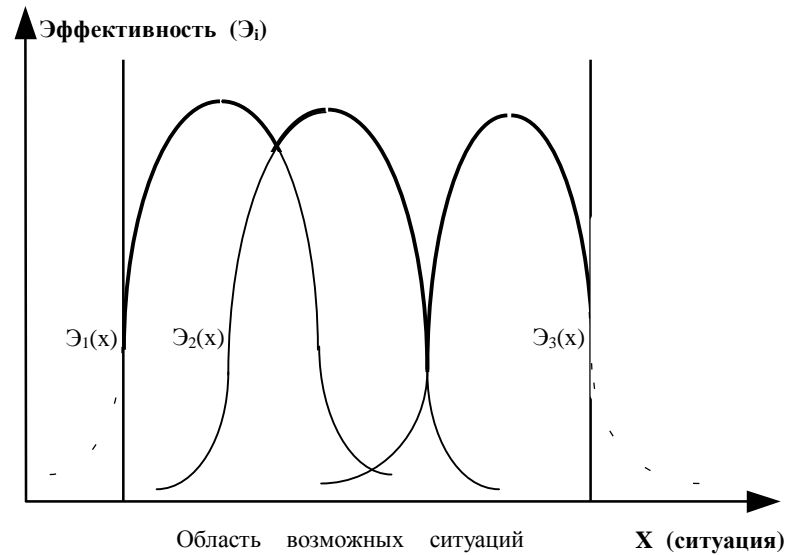


Рис. 8.

Рассмотрим следующий механизм. ПМ предлагает экспертам - «пусть каждый из вас сообщает (остальным экспертам) пару $(U_i(x), \mathcal{E}_i(x))$, где U_i - предлагаемое управление в ситуации x , $\mathcal{E}_i(x)$ - эффективность этого решения (i -ый эксперт точно знает истинную эффективность того или иного решения, которое он предлагает в каждой ситуации). После этого вы сообщаете мне решение, имеющее в сложившейся ситуации наибольшую эффективность, а я стимулирую вас пропорционально эффективности этого предложенного решения.»

Предложенный механизм действительно прост - эксперты сами между собой решают, какое решение предложить ПМ, то есть работают автономно. Возникает закономерный вопрос - а будут ли эксперты сообщать правду? Покажем, что сообщение достоверной информации в этом механизме является равновесием Нэша.

Если все эксперты сказали правду, то есть сообщили $(\mathcal{E}_1(x), \dots, \mathcal{E}_n(x))$, то ПМ предложат решение $\mathcal{E}(x) = \max_i \{\mathcal{E}_i(x)\}$ и, если стимулирование экспертов пропорционально $\mathcal{E}(x)$, то целевая функция i -ого эксперта имеет вид:

$$f_i(\mathcal{E}_1(x), \dots, \mathcal{E}_n(x)) = a_i - b_i |\mathcal{E}(x) - \mathcal{E}_i(x)|, \quad 0 < \sum_{i=1}^n b_i < 1,$$

где α_i - постоянная составляющая, а $\mathfrak{E}(x)$ - истинное (реализовавшееся) значение эффективности.

Предположим теперь, что j-й эксперт пытается исказить информацию, т.е. сообщить $\mathfrak{E}_j(x) \neq \mathfrak{E}_j(x)$ (фактически он объявляет, что эффективность его решения в ситуации x равна $\mathfrak{E}_j(x)$). Если $\mathfrak{E}_j(x) = \mathfrak{E}(x)$, то, так как j-й эксперт знает, что истинная эффективность $\mathfrak{E}(x) = \mathfrak{E}_j(x)$, то сообщая $\mathfrak{E}_j(x) > \mathfrak{E}_j(x)$ или $\mathfrak{E}_j(x) < \mathfrak{E}_j(x)$, он уменьшает значение своей целевой функции. Если $\mathfrak{E}_j(x) \neq \mathfrak{E}(x)$, т.е. другой эксперт с номером, например, k предложил решение с большей эффективностью $\mathfrak{E}_k(x) = \mathfrak{E}(x) > \mathfrak{E}_j(x)$, то сообщая $\mathfrak{E}_j(x) < \mathfrak{E}_j(x)$, j-ый эксперт не изменит итогового решения (а следовательно, и значения своей целевой функции), а сообщая $\mathfrak{E}_j(x) > \mathfrak{E}_j(x)$, т.е. добиваясь того, что $\mathfrak{E}(x) = \mathfrak{E}_j(x)$, он только уменьшит свой выигрыш, так как $\mathfrak{E}(x) = \mathfrak{E}_j(x) < \mathfrak{E}_j(x)$. То есть, мы показали, что сообщение достоверной информации - равновесие Нэша.

Достоинством автономных механизмов экспертизы является, во-первых, «разгрузка» ПМ, который получает сразу оптимальное (с точки зрения экспертов) решение, и, во-вторых, его неманипулируемость. При использовании автономных механизмов ПМ должен быть уверен, что эксперты точно идентифицируют ситуацию и не ошибаются при прогнозе эффективности своего решения.

Многоканальная структура системы управления как способ снижения неопределенности

Предположим, что эффективность управления $\mathfrak{E}(u)$ есть функция неизвестного ПМ параметра q: $\mathfrak{E}(u) = u - u^2/2q$. Пусть ПМ известно, что параметр q принадлежит отрезку [a, b], то есть существует неопределенность, обусловленная незнанием истинного значения параметра. Какое управление следует выбрать проект-менеджеру? Возможны различные подходы к решению этой задачи.

Первый подход заключается в том, что ПМ может выбирать управление, рассчитывая на наихудшее для него значение q (использовать метод максимального гарантированного результата). Действительно, если $a > 0$, то в наихудшей ситуации $q = a$. Выбирая $u = a$, ПМ максимизирует эффективность в этой ситуации: $u = a$ и обеспечивает значение эффективности, равное $\mathfrak{E}(a) = a/2$. В ряде случаев такой подход может оказаться слишком пессимистичным.

Если известно распределение вероятностей реализации параметра q, то ПМ может выбором управления максимизировать ожидаемое значение эффективности. Так например, если q равномерно распределен на [a, b] (вероятности любых значений из этого отрезка одинаковы), то максимум ожидаемого значения целевой

функции равен $\left[u - \frac{u^2}{2(b-a)} \ln\left(\frac{b}{a}\right) \right]$.

Если распределение вероятностей неизвестно ПМ или метод максимального гарантированного результата дает слишком заниженное значение эффективности, можно использовать процедуры экспертного оценивания для получения дополнительной информации (снижения неопределенности) о параметре q . Если эксперты обладают большей информацией о параметре q , чем ПМ, можно попросить их сообщать непосредственно оценки параметра q . Соответствующая модель активной экспертизы рассматривалась в разделе 1.3.1 (в этом случае $d = a$, $D = b$ и возможно построение неманипулируемого механизма).

Альтернативой является использование многоканальных механизмов. Если ПМ известно, что зависимость эффективности управленческого решения, предлагаемого экспертами, имеет вид $\mathcal{E}_i(u_i) = u_i - (u_i^2/2q)$, и если ПМ уверен, что эксперт обладает более полной информацией о параметре q , то он может попросить экспертов сообщить не оценки неизвестного параметра, а то, какие управления выбрали бы они сами. Предположим, что ПМ получил от экспертов информацию о $\{\mathcal{E}_i\}_{i=1, \dots, n}$. Теперь ПМ может поставить себя на место экспертов и решить, почему они выбрали те или иные значения u_i . Если эксперты выбором u_i стремятся максимизировать свою целевую функцию при имеющейся у них информации о параметре q (то есть $u_i = u_i(q)$), то, зная вид целевых функций экспертов, ПМ может на основании выбранных экспертами управлений u_i , «восстановить» информацию о q .

Максимум целевой функции эксперта (при фиксированном q) достигается при $u_i = q$, точнее $u_i = q_i$, $i = 1, \dots, n$, так как каждый эксперт может иметь свое представление q_i о значении параметра q . Значит, зная $\mathcal{E}_i(q) = q/2$, то есть зная $u_i = q_i$, ПМ получает информацию о (q_1, q_2, \dots, q_n) . Эта дополнительная информация может позволить снизить неопределенность и принять более эффективное решение.

Таким образом, используя многоканальный механизм, ПМ может провести «косвенную» экспертизу (оценить q не непосредственно, а на основании косвенной информации), предсказав поведение экспертов, и снизить неопределенность за счет использования этого механизма.

Глава 2 ФОРМИРОВАНИЕ СОСТАВА ИСПОЛНИТЕЛЕЙ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РЕСУРСА

2.1. Формирование состава исполнителей

Важнейшей задачей, стоящей перед ПМ, является формирование той команды, с которой ему предстоит работать. Действительно, можно правильно сформулировать цели, корректно поставить задачи, выбрать соответствующие методы и механизмы управления, но все это может оказаться напрасным, если не уделить достаточного внимания подбору кадров.

Отметим, что при обсуждении общих задач управления проектами (введение и первая глава настоящей работы, за исключением, пожалуй, раздела 1.2.3) и при описании конкретных механизмов управления неявно подразумевалось, что речь идет о каком-то конкретном проекте, то есть объект управления был фиксирован. На самом деле, при известных целях проекта, в первую очередь необходимо решить, кто будет реализовывать эти цели, иначе говоря - найти исполнителей. Если претендентов на участие в проекте не более одного на каждое задание (например, в случае, когда узко специализированное задание может выполнить только один коллектив или человек), то проблем не возникает. Однако, часто существует несколько коллективов или людей, способных решить соответствующие задачи. Кого из них следует выбрать в качестве исполнителя? Некоторые возможные подходы описаны ниже.

Исходными данными для задачи формирования состава исполнителей являются:

- 1) набор требований к проекту и его результатам (качество и объем работ, ресурсы, сроки, риск и т.д.);
- 2) множество претендентов (потенциальных исполнителей), каждый из которых характеризуется своими возможностями - какие работы он может выполнить и в какие сроки, каково будет при этом качество, каких затрат это потребует и т.д.;
- 3) правила взаимодействия исполнителей (совместимость, последовательность работ, технология и т.д.).

В общем виде алгоритм решения задачи достаточно прост: необходимо выделить допустимые комбинации претендентов (то есть такие комбинации, которые с учетом правил взаимодействия составляющих их элементов удовлетворяют требованиям, предъявляемым к проекту), а затем - выбрать «наилучшую» комбинацию. Возникающие при этом трудности можно условно разделить на три класса. Во-первых, не всегда просто формализовать требования к проекту, возможности претендентов, правила их взаимодействия и т.д. Во-вторых, неясно, что такое «наилучшая» комбинация? И, наконец, в-третьих, если удалось построить достаточно адекватную формальную модель и выбрать критерии оптимальности, то, как правило, вычислительная сложность задачи (число

различных вариантов, которые необходимо сравнивать) оказывается настолько высокой, что приходится искать специальные методы ее решения.

Ниже приводятся некоторые механизмы формирования состава исполнителей проекта, следующие описанному выше общему алгоритму, и акцентирующие внимание на ряде частных случаев.

2.1.1. Конкурсы исполнителей (тендеры)

Существуют различные модели организации конкурса исполнителей. Начнем рассмотрение с простой ситуации, когда объявляется конкурс на реализацию проекта в целом (тендер).

Каждый претендент подает заявку на участие в конкурсе. Как правило, к участникам конкурса предъявляется ряд условий, а победитель определяется по установленному критерию. Пусть, например, каждый претендент характеризуется двумя величинами - ожидаемым эффектом I_i в случае, если он будет реализовывать проект, и необходимой величиной средств s_i которую он указал в заявке. Оценка эффекта I_i определяется конкурсной комиссией и учитывает квалификацию претендента, его репутацию, опыт реализации близких проектов и т.д. Победитель конкурса определяется на основе этих двух величин.

В простейшем случае определяется эффективность $q_i = I_i / s_i$ и победителем становится претендент, имеющий максимальную эффективность. Недостаток такого способа очевиден - победителем может оказаться претендент, делающий «дешево, но плохо». Можно ввести ограничение на величину $I_i \geq I_{тр}$ в условия конкурса, а победителя определять по величине s_i . Можно наоборот, в условия конкурса ввести ограничения на требуемые средства - $s_i \leq s_{зад}$, а победителя определять по величине эффекта I_i .

Вариантов много. Какой же из них выбрать? Как оценить эффективность конкурса? Для этого, в первую очередь, нужно определиться с критерием эффективности. Для нас важен и ожидаемый эффект от работы претендентов, и сумма, которую они требуют за свою работу. Введем коэффициент λ , соизмеряющий эффект и затраты, и будем оценивать эффективность претендентов по разности $I_i - \lambda s_i$. Обозначим через c_i минимальный уровень затрат на проект, при котором претенденту i еще имеет смысл участвовать в конкурсе. Примем, что претенденты пронумерованы в порядке убывания величин $\Delta_i = I_i - \lambda c_i$, то есть $\Delta_1 \geq \Delta_2 \geq \dots \geq \Delta_n$. Таким образом, максимальный эффект, который может получить организатор конкурса, равен Δ_1 , и он достигается, если первый претендент будет победителем, и он сообщит величину требуемых средств, равную c_1 . Оценим эффективность ряда процедур определения победителей.

Пример 1. Пусть победитель определяется непосредственно по величине Δ_i (такой конкурс назовем прямым). Очевидно, что победителем будет первый

претендент (в случае равных \mathcal{E}_i для упрощения выводов примем, что побеждает претендент с меньшим номером). Столь же очевидно, что победитель сообщит в процессе торгов заявку s_i , такую, что

$$\mathcal{E}_1 = \mathbf{I}_1 - \lambda s_1 = \mathbf{I}_2 - \lambda c_2 = \mathcal{E}_2,$$

или

$$s_1^* = c_2 + \frac{1}{I}(\mathbf{I}_1 - \mathbf{I}_2) \geq c_1.$$

Отношение

$$k = \frac{\mathbf{I}_1 - I s_1^*}{\mathbf{I}_1 - I c_1} = \frac{\mathcal{E}_2}{\mathcal{E}_1}$$

характеризует потери организатора конкурса за счет завышения победителем величины требуемых средств.

Так, если $\mathbf{I}_1 = 20$, $c_1 = 5$, $\lambda = 1$

$$\mathbf{I}_2 = 30, \quad c_2 = 25,$$

то $s_1^* = 25 - 10 = 15$, и эффективность конкурса

$$k = \frac{20 - 15}{20 - 5} = \frac{1}{3}$$

составляет всего 1/3 от возможной.

Пример 2. (Двухэтапный конкурс.)

Будем проводить конкурс в два этапа. На первом этапе отбирается группа победителей по критерию $(\mathbf{I}_i - \lambda_1 s_i)$, а на втором этапе из этой группы выбирается победитель уже по основному критерию $\mathcal{E}_i = \mathbf{I}_i - \lambda s_i$. В чем идея двухэтапного конкурса? Если подобрать λ_1 на основе априорной информации об участниках конкурса таким образом, чтобы, во-первых, первый претендент попал в число победителей, а, во-вторых, нашелся еще хотя бы один претендент i , также вошедший в число победителей, то есть такой, что

$$\mathbf{I}_1 - \lambda_1 c_1 = \mathbf{I}_i - \lambda_1 c_i$$

(«равный по силе» первому), то для победы в первом туре оба претендента должны сообщать минимальные оценки требуемых средств c_1 и c_i , соответственно. Далее, на втором туре отбора уверенно побеждает первый претендент, имеющий максимальную величину критерия $\mathbf{I}_1 - \lambda_1 s_1$, и эффективность конкурса составит 100%.

В численном примере, рассмотренном выше, величина λ_1 определяется из уравнения

$$\mathbf{I}_1 - \lambda_1 c_1 = \mathbf{I}_2 - \lambda_1 c_2,$$

и равна

$$I_1 = \frac{\mathbf{I}_2 - \mathbf{I}_1}{c_2 - c_1} = 0,25.$$

При такой величине λ_1 в первом туре побеждают оба претендента (конечно, если оба сообщили минимальные оценки $s_1 = 5, s_2 = 25$). Во втором туре победителем становится, естественно, первый претендент.

Учитывая, что точные значения c_i не известны, для отбора победителей в первом туре вводится отрезок значений критерия 1-го тура

$$\left[\max_i (\mathbf{1}_i - I_1 s_i); \max_i (\mathbf{1}_i - I_1 s_i) - e \right].$$

Все претенденты, значения критериев которых попали в этот отрезок, признаются победителями первого тура.

Таким образом, организация даже простых конкурсов (тендеров) - непростая задача. Двухэтапная процедура подведения итогов позволяет обеспечить два важных требования - сравнимость участников по силе (что обеспечивает максимальную соревновательность) и возможность выбора наиболее эффективного претендента.

2.1.2. Сложные конкурсы исполнителей

В более сложных конкурсах, когда подбираются исполнители операций проекта, каждый участник может претендовать на право реализации различных операций.

Обозначим A_{ij} - минимальную цену, по которой участник i еще берется за операцию j , S_{ij} - цена за операцию, предлагаемая участником i (очевидно, $S_{ij} \geq A_{ij}$). Центр (руководитель проекта, ПМ) должен назначить все операции так, чтобы суммарная стоимость их реализации была минимальной. Примем, что каждый участник берется за реализацию не более, чем одной операции. Для формализации задачи принятия решений ПМ обозначим $x_{ij} = 1$, если операция j назначается участнику i и $x_{ij} = 0$ в противном случае. Тогда задачу распределения операций по исполнителям можно представить в виде следующей математической задачи:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i,j} x_{ij} \cdot S_{ij} \rightarrow \min \\ \sum_i x_{ij} = 1, \quad j = \overline{1, m} \\ \sum_j x_{ij} = 1, \quad i = \overline{1, n} \end{array} \right. \quad (1)$$

При этом стоимость j -ой операции:

$$C_j = \sum_{i=1}^n x_{ij} S_{ij}.$$

Фактически здесь переплетаются несколько конкурсов (по числу операций), 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.

Можно показать, что ситуации равновесия Нэша соответствует назначение операций, минимизирующее сумму объективных затрат

$$C = \sum_{i,j} x_{ij} \cdot C_{ij} . \quad (2)$$

Доказательство. Пусть $\{S_{ij}^*\}$ - ситуация равновесия. Пусть $x_{ij}^* = 1$. Обозначим $\Delta_i = S_{ij}^* - A_{ij} = C_j = A_{ij}$. Заметим, что если $S_{ik} - A_{ik} > \Delta_i$, то участник будет уменьшать S_{ik} , надеясь получить операцию 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 операций. Поэтому решение задачи (1) со значениями $\{S_{ij}^*\}$ эквивалентно решению такой же задачи со значениями $S_{ij} = A_{ij} + \Delta_i$, $i, j = \overline{1, n}$. Наконец, естественно принять, что все участники, не получившие операций, будут сообщать минимальные оценки $S_{ij} = A_{ij}$, надеясь получить какую либо операцию. Отсюда следует, что назначение операций, минимизирующее $\sum_{i,j} (A_{ij} + \Delta_i) X_{ij}$, минимизирует и $\sum_{i,j} A_{ij} x_{ij}$. Однако, отсюда не следует, что операции будут назначены по минимальным ценам A_{ij} , поскольку значения Δ_i могут быть весьма высокими.

Рассмотрим сначала случай, когда число участников равно числу операций.

Пусть $S = \{S_{ij}\}$ - некоторая ситуация (совокупность цен, предлагаемых участниками), а $x_{ij}(S)$ - соответствует решению задачи назначения. Заметим, что если участник увеличит цены всех операций на одну и ту же величину $S'_{ij} = S_{ij} + \Delta_i$, $j = \overline{1, n}$, то решение задачи назначения не изменится, и участник получит ту же операцию, но по более высокой цене. Поэтому, естественно, возникает тенденция роста цен. До каких пор? Ограничим цену каждой операции некоторой величиной L_j (лимитная цена операции). Ясно, что хотя бы по одной операции каждый участник предложит лимитную цену.

Пусть участники перенумерованы таким образом, что в оптимальном решении задачи назначения операций при $S_{ij} = A_{ij}$, операцию i получает участник с номером i , и поэтому $C_i = S_{ii}$. Примем начальные цены $C_i^0 = L_i$, а начальные оценки $S_{ij}^0 = L_i$, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, n}$. Далее проводим корректировку оценок и цен по формулам:

$$S_{ij} = \min(L_i, C_i + A_{ij} + A_{ij}), \quad (3)$$

$$C_{ij} = \min(L_j, S_{ij}). \quad (4)$$

Можно показать, что эта процедура конечна и в результате будут получены равновесные оценки $\{S_{ij}^*\}$ и, соответственно, равновесные цены $U_i^* = S_{ii}^*$, $i = \overline{1, n}$. Для нас важно, что отправной точкой процедуры являются максимальные (лимитные) цены. Более того, хотя бы одна операция будет назначена по лимитной цене.

Таким образом, случай распределения равного числа участников и операций лишь условно можно считать конкурсным механизмом. Скорее он близок к монопольному варианту финансирования операций. Это особенно очевидно, если каждый участник специализируется на определенном виде операций, например, участник i специализируется на операции i .

Пример 3. Пусть $L_i = L$; $A_{ii} = a < L$; $A_{ij} = L$, $j \neq i$. Очевидно, что ситуация равновесия $S_{ij}^* = L$ для всех i, j . Соответствующее равновесное решение задачи назначения проектов: $x_{ii}^* = 1$; $x_{ij}^* = 0$, $j \neq i$; $U_i^* = L$, $i = \overline{1, n}$. Эффективность конкурсного механизма, оцениваемая по отношению минимальной стоимости всех операций $S_{\min} = n \cdot a$ к их стоимости в ситуации равновесия $S = L \cdot n$, будет равна

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

если $a \ll L$.

Пример 4. Пусть имеются две операции и два участника. Значения A_{ij} приведены в таблице:

$i \setminus j$	1	2
1	15	10
2	25	15

Лимитные цены проектов $L_1 = 120$, $L_2 = 100$. Определим равновесные оценки S_{ij}^* и цены U_j^* .

Имеем:

$$S_{21}^0 = S_{11}^0 = L_1 = 120, \quad S_{12}^0 = S_{22}^0 = 100 \\ U_1^0 = 120, \quad U_2^0 = 100$$

1 шаг.

$$S_{12}^1 = \min[L_2; U_1^0 + A_{12} - A_{11}] = 100, \\ S_{21}^1 = \min[L_1; U_2^0 + A_{21} - A_{22}] = 110, \\ S_{11}^1 = U_1^1 \min[L_1; S_{21}^1] = 110, \\ S_{22}^1 = U_2^1 \min[L_2; S_{12}^1] = 100.$$

Получили равновесную ситуацию:

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

$$C_1^* = 100, \quad C_2^* = 100$$

Эффективность конкурсного механизма в данном случае $K = 30/210 = 1/7$, т.е. весьма мала.

Ситуация в корне меняется при появлении еще одного участника. Самое главное, что при этом договорные цены в ситуации равновесия определяются уже не лимитными ценами $\{L_j\}$, а минимальными ценами $\{A_{ij}\}$. Чтобы показать это, примем, что лимитные цены достаточно велики, и покажем, что они никак не влияют на равновесные. Пусть участники перенумерованы таким образом, что участник с номером i получает проект i , а участник с номером $(m+1)$ не получает проекта. В этом случае $\Phi_0 = \sum_i A_{ii}$ определяет оптимальное решение задачи

$$\text{минимизации } \sum_{i,j} A_{ij} x_{ij}.$$

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

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

Для определения Δ_i решим m задач следующего вида:

$$\sum_{j=1}^m \left[A_{m+1,j} x_{m+1,j} + \sum_{i \neq k} A_{ij} x_{ij} \right] \rightarrow \min \quad (5)$$

при ограничениях

$$\sum_j x_{ij} = 1, \quad i = \overline{1, m+1}, \quad i \neq k,$$

$$\sum_{i \neq k} x_{ij} + x_{m+1,j} = 1, \quad j = \overline{1, m} \quad (6)$$

Фактически мы заменили участника k на участника $(m+1)$ в задаче назначения операций. 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 $\sum_{i,j} (A_{ij} + \Delta_i) x_{ij}$ 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 участники 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:

$$K = \frac{\Phi}{\sum_{i=1}^m \Phi_i - (m-1)\Phi_0}.$$

Поскольку все Φ_i , $i = \overline{1, n}$ 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 5. Возьмем задачу из примера 3 и добавим одного участника, который может взяться и за операцию 1, и за операцию 2, которые для него одинаково выгодны, то есть $A_{31} = A_{32} = b$. Пусть $a < b < L$. 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 обеих операций равны $\Pi_1^* = \Pi_2^* = b$.

Пример 6. Добавим теперь одного участника в задаче примера 4 со следующими данными - $A_{31} = 40$, $A_{32} = 20$. Имеем:

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

$$\Phi_0 = 30, \quad \Phi_1 = 45, \quad \Phi_2 = 35, \quad \Delta_1 = 15, \quad \Delta_2 = 5.$$

Ситуация равновесия:

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

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

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

Назначение операций $x_{11}^* = x_{22}^* = 1$, остальные $x_{ij} = 0$.

Итак, первый участник получает первую операцию по цене $\Pi_1^* = 30$, а второй - вторую по цене $\Pi_2^* = 20$. Эффективность конкурсного механизма стала

$$K = \frac{30}{50} = 0,6,$$

т. е. повысилась по сравнению с предыдущим случаем $K = 1/7$ в 4,2 раза.

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

Эффективность конкурсного механизма максимальна, если в конкурсе участвуют равные соперники, то есть $A_{ij} = A_j$ для всех $i = \overline{1, n}$ и, следовательно, $\Phi_k = \Phi_0$, $\Delta_k = 0$, то есть все операции назначаются по минимальным ценам A_j , $i = \overline{1, m}$. Таким образом, с увеличением числа участников конкурса эффективность

конкурсного механизма, как правило, увеличивается (во всяком случае не уменьшается).

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 участников i, j , получивших операции, на двух участников, не получивших операций в равновесии.

Обозначим:

$$\Phi_{ij} = \min \sum_s \sum_{k \neq i, j} x_{ks} A_{ks}$$

при условиях

$$\begin{cases} \sum_{k \neq i, j} x_{ks} = 1, & s = \overline{1, m} \\ \sum_{s=1}^m x_{ks} = 1, & k \neq i, j. \end{cases}$$

В этом случае любое Паретовское решение системы неравенств

$$\begin{cases} \Delta_i + \Delta_j \leq \Phi_{ij} - \Phi_0, & i, j = \overline{1, m}, \\ 0 \leq \Delta_i \leq \Phi_i - \Phi_0, & i = \overline{1, m}, \end{cases}$$

определяет ситуацию равновесия. Эффективность конкурсного механизма можно

оценить, определив: $\Delta_{\max} = \max_i \sum_i \Delta_i$. Она равна

$$K = \frac{\Phi_0}{\Phi_0 + \Delta_{\max}}.$$

Пример 7. К трем участникам из примера 6 добавим четвертого

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

Имеем: $\Phi_1 = 35, \Phi_2 = 30, \Phi_{12} = 40, \Phi_0 = 30,$

$$\Delta_1 \leq 35 - 30 = 5, \Delta_2 \leq 30 - 30 = 0.$$

В данном случае, ситуация равновесия

$$S_{11} = 20, S_{21} = 25, S_{31} = 40, S_{41} = 20;$$

$$S_{21} = 15, S_{22} = 15, S_{32} = 20, S_{42} = 40.$$

Существуют два варианта назначения операций. В первом варианте первую операцию получает участник 1, а во втором - участник 4. Вторую операцию в первом варианте получает участник 2, а во втором - участник 1.

Эффективность конкурсного механизма при увеличении участников конкурса до четырех увеличивается до $K = 0,84 > 0,6$.

Таким образом, рассмотренные в настоящем разделе конкурсные механизмы позволяют эффективно решать задачи определения оптимального состава исполнителей проекта и оптимального распределения финансирования по операциям.

2.1.3. Надежность проекта

Нередко можно слышать высказывания: «этот проект является рискованным», «это - надежный проект» и т.д. Интуитивно, смысл этих утверждений понятен. Введем корректные определения в рамках рассматриваемой модели. Предположим, что заданы требования к проекту - область допустимых результатов (качество, сроки, затраты и т.д.). Под надежностью проекта, по аналогии с определением надежности технической системы, будем понимать его свойство сохранения основных параметров внутри допустимой области при возможных воздействиях неблагоприятного характера. Такое определение надежности проекта в широком смысле означает, что надежный проект может быть успешно выполнен в условиях, когда результат проекта зависит от неопределенных и случайных факторов, оказывающих отрицательное влияние. Например, таким внешним фактором может быть возможность нарушения (в определенных пределах) графика поставок от смежников, что, в принципе, не должно приводить к срыву сроков выполнения проекта.

В более узком смысле под надежностью проекта понимается вероятность успешного его завершения. Именно в этом смысле мы и будем употреблять термин «надежность проекта» в дальнейшем. Двойственным к надежности является понятие риска - вероятности невыполнения проекта (то есть вероятности того, что результаты проекта окажутся вне допустимой области). От чего же зависит надежность проекта, как и при каких условиях ею можно управлять?

Надежность проекта в целом, очевидно, зависит от надежности исполнителей. Если требования к результатам проекта заданы, если известны характеристики (статистические или иные) внешних факторов, то единственное, чем может управлять ПМ, это - надежность исполнителей. При этом следует различать управления трех типов.

Во-первых, зная возможности потенциальных исполнителей (претендентов), ПМ может выбрать тех из них, которые обеспечат минимальный риск. Эта задача управления надежностью решается на стадии формирования состава исполнителей и рассматривается в настоящем разделе.

Во-вторых, система управления должна обеспечивать максимальную надежность при фиксированном составе исполнителей. Проиллюстрируем последнее утверждение следующим примером. Предположим, что в проекте участвуют n исполнителей. Пусть известны надежности исполнителей q_i , зависящие от выделенного им финансирования C_i :

$$q_i(C_i) = \frac{(1 - e_i)}{R} C_i, \quad i = \overline{1, n}$$

где $\varepsilon_i < 1$ - некоторые положительные константы, R - суммарное количество ресурса. При нулевом финансировании надежность исполнителя равна нулю, при этом риск исполнителя (вероятность невыполнения задания) равен единице. С ростом финансирования надежность возрастает (риск уменьшается). Отметим, что в случае, когда i -й исполнитель получает все финансирование ($C_i \equiv R$), его риск равен ε_i .

Зная надежность исполнителей, определим надежность проекта в целом. Предположим, что проект считается невыполненным, если хотя бы один из исполнителей не выполнил свое задание. Тогда надежность проекта Q в предположении независимости отказов исполнителей равна:

$$Q(q_1, \dots, q_n) = Q(C_1, \dots, C_n) = \prod_{i=1}^n \frac{(1 - \varepsilon_i)}{R} C_i.$$

Надежность $Q(q_1, \dots, q_n)$ зависит от вектора $C = (C_1, \dots, C_n)$ распределения финансирования. Если фонд финансирования ограничен, то есть имеет место:

$$\sum_{i=1}^n C_i \leq R,$$

то ПМ может на начальной стадии реализации проекта решить задачу максимизации надежности (фактически, решить задачу распределения ресурса - см. раздел 2.2) - максимизировать выбором вектора C надежность при балансовом ограничении. В рассматриваемом примере оптимальным оказывается следующее распределение ресурса:

$$C_i = \frac{R}{\sum_{j=1}^n \frac{(1 - \varepsilon_j)}{(1 - \varepsilon_i)}}, \quad i = \overline{1, n}$$

Приведенный выше пример показывает, что выбор соответствующего распределения финансирования повышает надежность проекта. Более того, если увеличивается фонд финансирования, то увеличивается и надежность (подставьте оптимальное решение в выражение для Q и проанализируйте его). Таким образом, можно сделать достаточно очевидный вывод - при фиксированном составе исполнителей увеличение финансирования приводит к повышению надежности. Понятно, что возможности такого управления ограничены, так как, как правило, ограничено финансирование.

Более детально механизмы управления надежностью на этапе реализации проекта будут рассмотрены в разделе 4.2.

И, наконец, третьим видом управления является оперативное управление надежностью проекта - если в процессе выполнения проекта обнаружена возможность того, что в будущем произойдут какие-то срывы (или они уже произошли), то в ряде случаев можно принять меры и успеть исправить ситуацию, предотвратив срыв проекта в целом. Задачи оперативного управления надежностью обсуждаются в пятой главе.

Можно выделить два подхода к управлению надежностью (методам ее повышения) любой системы. Понятно, что если элементы системы (исполнители) не являются абсолютно надежными, то есть существуют ненулевые вероятности их отказа - невыполнения заданий, то для повышения надежности системы следует вводить избыточность. Что это значит? Представим себе, что кто-то из исполнителей не справляется со своим заданием. Для того, чтобы проект не был сорван, должен существовать кто-то (другой исполнитель), кто заменил бы отказавший элемент. Этот "кто-то", если бы не было отказов, не был нужен - он избыточен, и из-за его участия в проекте ПМ несет определенные затраты. Но, как говорится, за все надо платить, и если ПМ хочет повысить надежность, то введение избыточности, естественно, потребует определенных затрат. Возникает оптимизационная задача - каково должно быть соотношение между надежностью и затратами (классическая дилемма «риск - эффективность»). Двум различным подходам к управлению надежностью соответствуют два различных типа избыточности - аппаратная и функциональная. Аппаратной избыточности соответствует случай, когда в состав исполнителей вводятся дублирующие друг друга исполнители - в случае отказа одного его заменяет другой. Функциональной избыточности соответствует введение в состав проекта таких исполнителей, которые вместе с другими могут выполнять функции отказавших исполнителей. На практике, зачастую, встречаются системы, обладающие и аппаратной и функциональной избыточностью. Рассмотрим ряд примеров, иллюстрирующих использование избыточности как метода повышения надежности.

Пусть цель проекта заключается в выпуске $R = 5$ единиц некоторой продукции. Имеется неограниченное число потенциальных исполнителей, каждый из которых может выпустить $x = 1$ единиц продукции. Сколько исполнителей следует привлечь ПМ для выполнения данного проекта? Если забыть про надежность, то ответ тривиален - следует взять пять исполнителей, которые обеспечат требуемый объем выпуска. Сформулируем задачу по-другому. Пусть каждый из исполнителей может отказать (произвести ноль единиц продукции) с вероятностью p , а ПМ должен обеспечить объем выпуска равный пяти. Какое число исполнителей следует привлечь? Ожидаемый объем выпуска одного исполнителя равен $(1-p)$. Из условия $n(1 - p) = 5$ определим n . Видно, что чем больше вероятность отказа одного исполнителя, тем большее число исполнителей следует привлекать.

ПМ может ориентироваться не только на ожидаемый объем выпуска. Например, можно решать следующую задачу: каково должно быть число исполнителей n' , чтобы вероятность того, что суммарный объем выпуска окажется менее пяти не превышала некоторой вероятности q (надежность проекта при этом будет равна $Q = 1-q$). Предположим, что вероятность отказа исполнителя $p=0,15$. При $n'=5$ риск проекта равен 0,56 - очень высокий риск. При введении избыточности (аппаратной) - 0,22, при $n'=7$ $q \approx 0,07$ и т.д. (значения вероятностей вычисляются через биномиальные коэффициенты). Например, если требуется обеспечить риск не более 0,002, то следует привлечь 10 исполнителей - в два раза больше, чем минимально необходимое их число; для того, чтобы риск проекта не превышал риска одного исполнителя, следует привлечь 7 исполнителей и т.д.

При независимых исполнителях риск проекта и оптимальное их число определяются методами теории вероятностей достаточно просто. Если же исполнители взаимозависимы и надежность проекта сложным образом зависит от надежностей исполнителей, то ПМ следует использовать более сложные модели.

Очевидно, что в случае ненадежных исполнителей затраты на выпуск продукции (пропорциональные, например, числу исполнителей) больше, чем при абсолютно надежных исполнителях. Введение такого рода аппаратной избыточности, помимо дополнительных затрат и повышения надежности, имеет ряд других аспектов. Если ПМ ориентируется на ожидаемый объем выпуска, то при $p < 1$ он вынужден привлекать большее число исполнителей, чем это минимально необходимо. Так как отказ исполнителя является случайной величиной, то ожидаемый объем выпуска является «усредненным» показателем. На самом деле могут отказать все исполнители (тогда ПМ несет расходы, связанные с невыполнением проекта). Однако, возможна ситуация, когда ни один из исполнителей не откажет. Тогда произведенный объем продукции окажется больше, чем требуемый. Если ПМ имеет возможность реализовать этот «излишек», то он получит дополнительную прибыль. Если же «излишки» никому не нужны, ПМ опять несет расходы - ведь производство продукции оплачено. Приведенные рассуждения иллюстрируют, что в случае, когда результат проекта зависит от случайных и неопределенных факторов, выбор ПМ критериев оптимальности играет существенную роль.

Часто ПМ сталкивается со следующей проблемой: что «лучше» - для выполнения одной и той же работы привлечь одного (или несколько) высокооплачиваемого и высоконадежного исполнителя или большое число (n) менее надежных исполнителей, требующих меньшей оплаты? Предположим, что доход ПМ от реализации проекта равен R , затраты на стимулирование надежного исполнителя (вероятность отказа - p_0) равны C_0 , а одного ненадежного (с вероятностью отказа $p \gg p_0$) - $C \ll C_0$. Сравнив ожидаемые расходы ПМ, получим, что привлечение нескольких ненадежных исполнителей выгоднее, если

$$(1 - p)^n R - nC \geq (1 - p_0)R - C_0.$$

Сравнение по ожидаемым потерям с учетом дополнительных затрат может привести к другим условиям.

Итак, выше мы рассмотрели некоторые элементарные модели - примеры, иллюстрирующие возможность использования аппаратной избыточности, то есть дублирования (резервирования) идентичными элементами, для повышения надежности проекта. Основной проблемой при выборе уровня избыточности (числа дублирующих элементов) является рост затрат. Построение адекватной модели проекта, то есть модели, связывающей риск (надежность) и затраты, позволяет в большинстве случаев достаточно просто определить оптимальный состав исполнителей проекта и оптимальное с точки зрения надежности распределение финансирования между ними.

С одной стороны, введение дублирующих элементов является одним из наиболее широко используемых методов повышения надежности. С другой стороны, в ряде случаев простое дублирование исполнителей выглядит не очень

естественно. Действительно, представим себе научный проект, заключающийся в разработке нового прибора. Каждый из исполнителей разрабатывает один из узлов этого прибора. Введение аппаратной избыточности будет означать, что два коллектива конструкторов получают заказ на разработку одного и того же узла. Вряд ли это разумно. Здравый смысл подсказывает, что в этом случае следует вводить не одинаковых исполнителей, а различных по своим функциям - пусть один, например, разрабатывает один узел, другой - другой узел, а третий исполнитель - какие-либо части обоих узлов. Тогда в случае отказа первого исполнителя (представим себе, что он не справился с заданием - разработанный им узел не удовлетворяет по своим характеристикам предъявленным требованиям), разработки второго и третьего позволят создать новый прибор. Такое дублирование не исполнителей, а их функций называется функциональной избыточностью. Дилемма «риск - затраты» возникает и в этом случае. Увеличение числа взаимозаменяемых исполнителей с одной стороны повышает надежность, а с другой - требует затрат. Задача ПМ заключается в поиск оптимального соотношения между надежностью и затратами.

Представим проект в виде набора требований F - функций, которые должны реализовывать исполнители к моменту окончания проекта, $F = (f_1, \dots, f_n)$, где f_i - функция, реализуемая i -ым исполнителем. Рассмотрим некоторое множество исполнителей, обладающих набором функций F . Будем называть набор исполнителей функционально полным (ФП) относительно целей проекта F , если любая функция из F может реализоваться исполнителями (одним или их комбинацией). Понятно, что одних и тех же целей можно достичь различными путями, то есть, в общем случае, существует достаточно много коллективов - исполнителей, функционально полных в F . Набор исполнителей будем называть минимально полным, если отказ хотя бы одного из исполнителей приводит к потере функциональной полноты - отказу проекта в целом. Если одна из функций одного из исполнителей может быть заменена комбинацией функций других исполнителей, то эта функция называется избыточной, а набор исполнителей - функционально избыточным.

Очевидно, что функционально избыточный набор исполнителей обладает не меньшей надежностью, чем минимально полный. Для решения задачи формирования оптимального состава исполнителей проекта ПМ должен:

1. Сформулировать набор требований к проекту F ;
2. Из множества потенциальных исполнителей выбрать функционально полные относительно F подмножества;
3. Для каждого из этих подмножеств определить надежность проекта и затраты;
4. Определить оптимальную с той или иной точки зрения комбинацию надежности и затрат, удовлетворяющую дополнительным ограничениям.

Отметим, что пункты 2 и 3 описанного алгоритма, как правило, требуют значительных вычислительных затрат. Проиллюстрируем технологию использования предложенного алгоритма на следующем примере. Пусть проект

заключается в производстве некоторого продукта, для чего требуется произвести X_1 единиц комплектующих первого типа и X_2 единиц комплектующих второго типа. Есть потенциальные исполнители трех типов:

Тип 1. Производство x_1 единиц продукции первого типа. Риск (вероятность отказа) - p_1 . Затраты - C_1 .

Тип 2. Производство x_2 единиц продукции второго типа. Риск - p_2 . Затраты - C_2 .

Тип 3. Переработка y_1 единиц продукции первого типа в y_2 единиц продукции второго типа. Риск - p_3 . Затраты - C_3 .

Требования к проекту \tilde{F} - (X_1, X_2) определяют допустимые (функционально полные относительно \tilde{F}) комбинации исполнителей. Обозначим n_1, n_2, n_3 - число исполнителей, соответственно, первого, второго и третьего типов, участвующих в проекте. Выберем конкретные значения $X_1 = X_2 = 1$; $x_1=0,6$; $x_2=0,7$; $y_1=0,2$; $y_2=0,3$. Если бы исполнители были абсолютно надежны, то, очевидно, достаточно было бы взять $(n_1=2, n_2=2, n_3=0)$, или $(n_1=2, n_2=1, n_3=1)$, $(n_1=4, n_2=0, n_3=4)$ и т.д. с любым большим числом исполнителей. Приведенные наборы исполнителей являются минимально полными - действительно, при отказе хотя бы одного из исполнителей выпуск одного из видов продукции становится строго меньшим единицы. Отметим, что функции (возможности производства) исполнителей разных типов различны, в отличие от примеров, рассматриваемых при исследовании аппаратной избыточности.

Предположим, что наложены ограничения на суммарные затраты (они не должны превышать R) и общее число исполнителей не должно превышать N . Тогда допустимые наборы исполнителей определяются следующей системой неравенств:

$$\begin{cases} n_1x_1 - n_3y_1 \geq X_1 \\ n_2x_2 + n_3y_2 \geq X_2 \\ n_1 + n_2 + n_3 \leq N \\ n_1C_1 + n_2C_2 + n_3C_3 \leq R \\ n_1, n_2, n_3 \in N \end{cases},$$

где N - множество натуральных чисел.

Так как могут иметь место отказы исполнителей, то для повышения надежности следует «наращивать» минимально полные наборы. В наборах $(n_1=3, n_2=3, n_3=0)$, $(n_1=3, n_2=1, n_3=2)$ и т.д. существуют избыточные элементы. Положим $N=6, R=11, C_1=2, C_2=3, C_3=1, p_1=0,1, p_2=0,2, p_3=0,15$. Тогда допустимыми являются следующие пять вариантов состава исполнителей:

Варианты	Исполнители	Число исполнителей	Затраты	Надежность
1	$n_1=2, n_2=1, n_3=1$	4	8	0.55
2	$n_1=2, n_2=2, n_3=0$	4	10	0.52
3	$n_1=2, n_2=2, n_3=1$	5	11	0.74
4	$n_1=3, n_2=1, n_3=1$	5	10	0.58
5	$n_1=3, n_2=1, n_3=2$	6	11	0.57

Видно, что минимально полные варианты 1 и 2 имеют очень низкую надежность. Надежность вариантов 4 и 5 тоже невелика. Варианты 3-5 являются избыточными. В варианте 3 при отказе либо одного исполнителя второго типа (переход к варианту 1), либо при отказе одного исполнителя третьего типа (переход к варианту 2) сохраняется функциональная полнота - система неравенств по-прежнему удовлетворяется. При отказах одного исполнителя первого типа в четвертом варианте или одного исполнителя третьего типа в пятом варианте проект также сохраняет свою жизнеспособность.

Анализируя варианты 1-5, ПМ, скорее всего, выберет третий вариант, так как он обеспечивает максимальную надежность. Возможно, однако, сэкономить на затратах за счет снижения надежности, перейдя, например, к варианту 4 или привлечь большее число исполнителей (если число рабочих мест является существенным фактором), выбрав вариант номер 5.

Анализируя надежность проекта, мы предполагали, что характеристики исполнителей - их надежность, производственные возможности и т.д. достоверно известны ПМ. Информация об этих характеристиках может быть получена либо на основании анализа статистических данных, либо в результате проведения экспертизы, либо (в крайнем случае) от самих исполнителей. В последнем случае возникает проблема манипулируемости, и ПМ вынужден разрабатывать специальные механизмы выявления, предотвращающие искажение информации: конструировать эквивалентные прямые механизмы (см. разделы 1.3, 2.2 [2, 3, 6]), использовать штрафы за искажение информации [4, 5] и т.д.

Таким образом, мы описали два метода повышения надежности проекта на этапе формирования состава исполнителей - введение аппаратной или функциональной избыточности, или их комбинации. В обоих случаях ПМ решает дилемму «риск - затраты», выбирая вариант с максимальной надежностью при фиксированных затратах, или минимизирует затраты на обеспечение заданного уровня риска.

2.2. Распределение ресурса

Одной из наиболее распространенных задач в управлении организационными системами, в том числе и в управлении проектами, является задача распределения ресурса. В качестве ресурса могут выступать финансы, сырье, энергия, оборудование, трудовые ресурсы, вычислительные мощности и т.д. Основной проблемой здесь является то, что ПМ, как правило, неизвестны истинные потребности исполнителей в ресурсе того или иного вида (то есть неизвестна точная зависимость их эффективности от количества полученного ресурса). Следовательно, так как суммарное количество ресурса в большинстве случаев ограничено, то возникает задача распределения ресурса оптимальным образом.

Что понимать под оптимальностью механизма распределения? Предположим, что в системе с n исполнителями эффективность i -го исполнителя определяется функцией $\varphi_i(x_i)$ ($\varphi_i(\cdot)$ в этом случае называется функцией предпочтения), где x_i -

количество полученного ресурса, $i = \overline{1, n}$, $x = (x_1, \dots, x_n)$. Пусть ПМ заинтересован в том, чтобы суммарная эффективность исполнителей была максимальна:

$$\sum_{i=1}^n j_i(x_i) \rightarrow \max_x, \quad (1)$$

при условии ограниченности распределяемого ресурса

$$\sum_{i=1}^n x_i \leq R. \quad (2)$$

Если эффективности исполнителей известны ПМ и распределяется весь ресурс, то оптимальное решение $x^*(\lambda)$ задачи (1) - (2) удовлетворяет:

$$\frac{dj_i(x_i^*)}{dx_i} = \lambda, \quad i = \overline{1, n}, \quad (3)$$

где λ определяется из условия $\sum_{i=1}^n x_i^*(\lambda) = R$.

Что делать ПМ в ситуации, когда эффективности исполнителей ему неизвестны? Можно, не пытаясь получить от исполнителей информацию об их эффективности, распределить ресурс, например, поровну. Понятно, что использование таких принципов распределения вряд ли окажется эффективным. Значит необходимо использовать процедуры получения информации от исполнителей и на основе этой информации принимать решения о количестве ресурса, выделяемого тому или иному исполнителю. Но, коль скоро исполнители осознают, что сообщаемая ими информация влияет на количество выделенного им ресурса, а, следовательно, влияет на значение функции предпочтения, они будут сообщать такую информацию, чтобы получить максимально выгодное для себя количество ресурса. Очевидно, в общем случае сообщаемая информация может вовсе не соответствовать истинному положению дел, то есть возникает вопрос о манипулируемости. Возможно ли построение механизма, обеспечивающего сообщение исполнителями достоверной информации? Ответу на этот вопрос посвящен настоящий раздел.

2.2.1 Неманипулируемые механизмы распределения ресурса

Рассмотрение вопроса о неманипулируемости начнем с простейшего примера. Предположим, что ПМ должен распределить ресурс между двумя исполнителями. Обозначим r_i - количество ресурса, при котором эффективность i -го исполнителя максимальна ($i = 1, 2$). Пусть решение об объеме выделяемого ресурса принимается на основании заявок исполнителей s_1 и s_2 , где s_i - сообщаемая i -м исполнителем заявка на ресурс. Понятно, что если $s_1 + s_2 \leq R$, $r_1 + r_2 \leq R$, то проблем не возникает (достаточно положить $x_1 = s_1$, $x_2 = s_2$). Что делать ПМ, если имеется дефицит ресурса, то есть если $s_1 + s_2 > R$? Предположим, что заявки исполнителей

ограничены: $0 \leq s_i \leq R = 1$, $i = 1, 2$, то есть, как минимум, исполнитель может отказаться от ресурса (сообщив $s_i = 0$), или запросить весь ресурс, сообщив $s_i = 1$. Пусть ПМ использует следующий механизм $\pi(\cdot)$ распределения ресурса (в общем случае - механизм планирования):

$$x_i = p_i(s_1, s_2) = \frac{s_i}{s_1 + s_2} \cdot R, i = 1, 2. \quad (4)$$

Принцип распределения (4) называется принципом пропорционального распределения. Отметим, что количество ресурса, получаемое каждым исполнителем, зависит от его собственной заявки и от заявки другого исполнителя, то есть имеет место игра. ПМ в этой игре выступает метаигроком, то есть игроком, выбирающим правила - механизм $\pi(\cdot)$.

Рассмотрим, какие заявки будут сообщать исполнители. Возможны следующие случаи:

1. $r_1 = +\infty$, $r_2 = +\infty$, то есть оба исполнителя заинтересованы в получении максимального количества ресурса («чем больше - тем лучше»). В этом случае равновесные заявки равны $s_1^* = s_2^* = 1$. Равновесие понимается в смысле Нэша (то есть такой точки, одностороннее отклонение от которой невыгодно ни одному из исполнителей). Действительно, сообщить $s_i > 1$ исполнитель не может. Сообщая $s_i < 1$, i -й исполнитель получит строго меньшее количество ресурса (при условии, что $s_j = s_j^* = 1$, $j \neq i$), то есть, отклоняясь один, он уменьшит (не увеличит) значение своей функции предпочтения. В этом случае $x_1^* = \pi_1(s_1^*, s_2^*) = x_2^* = \pi_2(s_1^*, s_2^*) = R/2 = 1/2$. Легко видеть, что ситуация равновесия не изменится, если $r_1 > 1/2$, $r_2 > 1/2$.

2. $r_1 \leq 1/2$, $r_2 > 1/2$. В этом случае заявка s_2^* , очевидно, равна 1, а $s_1^* = r_1/(1 - r_1)$ (легко видеть, что $s_i^* \in (0, 1) \forall r_i < 1/2$). При этом $x_1^* = r_1$, $x_2^* = 1 - r_1$, то есть первый исполнитель является «диктатором» (сравните с механизмами активной экспертизы (раздел 1.3.1)).

Чем же характерно число $x_i = 1/2$? Если $r_i \leq 1/2$ ($r_1 + r_2 > R$), то i -й исполнитель становится диктатором и получает ровно столько, сколько ему нужно. Заметим, что $1/2 = \pi_i(1, 1)$, то есть это количество ресурса, получаемое в случае, когда оба исполнителя сообщили максимальные заявки.

Более того, механизм является манипулируемым - равновесные заявки исполнителей не совпадают с их истинными потребностями. Можно ли избавиться от этого манипулирования? Оказывается - да! Рассмотрим следующий механизм.

Для анализируемого примера сконструируем соответствующий прямой механизм (см. раздел 1.3.1). Предположим, что исполнители сообщают ПМ не заявки $s_i \in [0, 1]$, а непосредственно оценки r_i параметров r_i своих функций предпочтения $\phi_i(x_i)$. Получив оценки $\{r_1, r_2\}$, центр определяет точку равновесия $(s_1^*(r_1, r_2); s_2^*(r_1, r_2))$ в соответствии со следующей процедурой:

1. Если у обоих исполнителей $r_i > 1/2$, то $s_1^* = s_2^* = 1$.
2. Если у одного из исполнителей $r_i \leq 1/2$ ($r_j > 1/2$, $j \neq i$, $r_1 + r_2 > 1$), то $s_i^* = r_i/(1 - r_i)$, $s_j^* = 1$.

3. Если $r_1 + r_2 \leq 1$, то $s_1^* = r_1$, $s_2^* = r_2$.

Далее ПМ выделяет ресурс в соответствии с исходным механизмом (4). Понятно, что в соответствующем прямом механизме каждый из исполнителей получает в точности то же количество ресурса, что и в исходном механизме, значит эффективности этих механизмов совпадают. Исследуем теперь, является ли эквивалентный механизм неманипулируемым, то есть, является ли сообщение $r_i \equiv r_i$, $i=1, 2$, равновесием Нэша. Рассмотрим следующие случаи:

1. Если у обоих исполнителей $r_i > 1/2$, то, сообщая $r_i \equiv r_i$, они получают ровно по половине ресурса. Распределение изменится только если $r_i < 1/2$, в этом случае $x_i^* < 1/2$ - то есть эффективность i -го исполнителя уменьшится. Значит, такое отклонение ему невыгодно.

2. Если $r_i \leq 1/2$, то i -му исполнителю отклонение невыгодно, так как он получает оптимальное для себя количество ресурса r_i . Для j -го исполнителя ($i \neq j$), который в этой ситуации получает меньше ресурса, чем ему необходимо, отклонение также невыгодно, так как, если он сообщит $r_j < r_j$, то ПМ «восстановит» $s_j^*(r_i, r_j) \leq 1$ и полученное им количество ресурса не увеличится.

3. Если $r_1 + r_2 \leq 1$, то $x_1 = r_1$, $x_2 = r_2$, то есть каждый исполнитель получает оптимальное для себя количество ресурса, и искажение информации ему ничего не дает (предполагается, что если при сообщении достоверной информации и ее искажении исполнитель получает одно и то же количество ресурса, то он предпочтет сообщить правду).

Таким образом, мы показали, что в рассматриваемом примере можно построить соответствующий прямой механизм распределения ресурса, который является неманипулируемым и имеет ту же эффективность, что и исходный механизм. Попробуем теперь обобщить этот замечательный результат на случай произвольного механизма распределения ресурса. Пусть в распоряжении ПМ имеется ресурс в количестве R , который он должен распределить между n исполнителями, имеющими функции предпочтения $\varphi_i(x_i)$, $i = \overline{1, n}$. Предположим, что на заявки, подаваемые исполнителями, наложены ограничения $s_i \leq D_i$, $i = \overline{1, n}$. Обозначим $\{r_i\}$ - точки максимума функций предпочтения исполнителей и будем

рассматривать случай, когда имеет место дефицит ресурса, то есть $\sum_{i=1}^n r_i > R$.

Пусть ПМ использует процедуру распределения $\pi(\cdot)$: $x_i = \pi_i(s)$, где $s = (s_1, \dots, s_n)$ и процедура $\pi(\cdot)$ удовлетворяет следующим свойствам:

1. Весь ресурс распределяется полностью, то есть $\sum_{i=1}^n p_i(s) = R$

при любых s : $\sum_{i=1}^n s_i > R$.

2. Если исполнитель при данной процедуре получил некоторое количество ресурса, то он всегда может получить любое меньшее количество.

3. Если количество ресурса, распределяемое ПМ между заданным множеством исполнителей, увеличивается, то каждый из исполнителей из этого множества при той же процедуре распределения в равновесии получит не меньше, чем при прежнем количестве ресурса.

Перечисленные выше свойства механизма распределения ресурса представляются достаточно естественными. Действительно, этим свойствам удовлетворяют большинство используемых на практике механизмов.

Очевидно, что множество всех исполнителей $I = \{1, 2, \dots, n\}$ можно разбить на два подмножества: Q и P ($Q \cap P = \emptyset$; $Q \cup P = I$). Множество приоритетных потребителей Q (диктаторов) характеризуется тем, что все они получают ровно оптимальное для себя количество ресурса (напомним, что в точке r_i функция предпочтения i -го исполнителя достигает максимума). Исполнители, входящие в множество P , характеризуются тем, что они получают количество ресурса, строго меньшее оптимального, то есть $x_i(s^*) < r_i$, $i \in P$, где s^* - равновесные сообщения элементов. Легко показать, что $s_i^* = D_i$, $\forall i \in P$. Построим теперь соответствующий прямой механизм, то есть механизм, использующий сообщения исполнителями оценок r_i .

Понятно, что достаточно определить множество приоритетных потребителей. Для этого предлагается использовать следующий алгоритм:

1. Положим $Q = \emptyset$, $P = I$, и определим $x_i(D)$, $i = \overline{1, n}$, где $D = (D_1, \dots, D_n)$, то есть предположим, что все исполнители сообщили максимальные заявки. Если $x_j(D) \geq r_j$, то $Q := Q + \{j\}$.

2. Полагаем $S_i = D_i \forall i \in P$ и распределяем между ними ресурс

$R = \sum_{j \in Q} r_j$. Если появляются новые приоритетные потребители, то включаем их в

множество Q и повторяем шаг 2.

Очевидно, алгоритм сходится за конечное число шагов. Обсудим его содержательные интерпретации. На первом шаге ПМ вычисляет, сколько получит каждый исполнитель, если все сообщат свои максимальные заявки. Понятно, что если кто-то при этом получает больше, чем ему нужно (больше, чем r_j), то излишком ресурса ($x_j(D) - r_j$) он, в силу свойств 2 и 3 механизма $\pi(\cdot)$, может поделиться с теми исполнителями, которым ресурса не хватает. Далее приоритетным исполнителям выделяется ровно оптимальное количество ресурса, а остаток делится между исполнителями, не попавшими в число приоритетных.

Прямой механизм, определяемый приведенным выше алгоритмом, использует сообщение $\{r_j\}$ и приводит к тому же распределению ресурса, что и исходный механизм $\pi(\cdot)$. Более того, по аналогии с рассмотренным примером легко показать, что прямой механизм является неманипулируемым, то есть сообщение достоверной информации исполнителями является равновесием Нэша. А так как эквивалентный

прямой механизм приводит к тому же распределению ресурса, что и исходный, значит он имеет и ту же эффективность, что и исходный механизм (проведите аналогии с механизмом активной экспертизы раздела 1.3.1) [2].

Таким образом, мы установили замечательный факт - для любого механизма распределения ресурса существует эквивалентный прямой (неманипулируемый) механизм не меньшей эффективности. Значит оптимальный механизм содержится в классе неманипулируемых механизмов, то есть, строя механизм, в котором все исполнители сообщают правду, ПМ не теряет эффективности.

Рассмотрение, проведенное в настоящем разделе, носит достаточно абстрактный характер. В последующих двух разделах мы исследуем два широко распространенных класса механизмов распределения ресурса.

2.2.2. Приоритетные механизмы

В приоритетных механизмах распределения ресурса, как следует из их названия, при формировании планов (решении о том, сколько ресурса выделить тому или иному исполнителю) в существенной степени используются показатели приоритета исполнителей. Приоритетные механизмы в общем случае описываются следующей процедурой:

$$x_i(s) = \begin{cases} s_i, & \text{если } \sum_{j=1}^n s_j \leq R \\ \min\{s_i, g h_i(s_i)\}, & \text{если } \sum_{j=1}^n s_j > R \end{cases}, \quad (1)$$

где n - число исполнителей, $\{s_i\}$ - их заявки, x_i - выделяемое количество ресурса, R - распределяемое количество ресурса, $\eta_i(s_i)$ - функции приоритета исполнителей, γ - некоторый параметр. Операция взятия минимума содержательно означает, что исполнитель получает ресурс в количестве, не большем заявленной величины. Параметр γ играет роль нормировки и выбирается из условия выполнения балансового (бюджетного) ограничения:

$$\sum_{i=1}^n \min\{s_i, g h_i(s_i)\} = R,$$

то есть подбирается таким, чтобы при данных заявках и функциях приоритета распределялся в точности весь ресурс R .

Приоритетные механизмы, в зависимости от вида функции приоритета, подразделяются на три класса - механизмы прямых приоритетов (в которых $\eta_i(s_i)$ - возрастающая функция заявки s_i , $i = \overline{1, n}$), механизмы абсолютных приоритетов, в которых приоритеты исполнителей фиксированы и не зависят от сообщаемых ими заявок, и механизмы обратных приоритетов (в которых $\eta_i(s_i)$ - убывающая функция заявки s_i , $i = \overline{1, n}$). Рассмотрим последовательно механизмы прямых и обратных

приоритетов (если выполнена гипотеза благожелательности, то результаты анализа механизмов абсолютных приоритетов, практически, совпадают с результатами анализа механизмов обратных приоритетов).

Механизмы прямых приоритетов

Если функции предпочтения $\varphi_i(x_i)$ исполнителей являются строго возрастающими функциями x_i (исполнители заинтересованы в получении максимально возможного количества ресурса), то, так как в механизме прямых приоритетов x_i - возрастающая функция заявки s_i , то все исполнители будут сообщать максимальные заявки на ресурс. Это явление - тенденция роста заявок - широко известно в экономике. Поэтому механизмы прямых приоритетов, использующие принцип - «больше просишь - больше получишь» подвергались и подвергаются справедливой критике.

Если функции предпочтения исполнителей имеют максимумы в точках $\{r_i\}$, то анализ несколько усложнится, однако качественный вывод останется прежним - при наличии малейшего дефицита $\Delta = \sum_{i=1}^n r_i - R$ имеет место тенденция роста заявок.

Отметим, что процедура, рассматриваемая в качестве примера в предыдущем разделе, является процедурой прямых приоритетов ($\eta_i(s_i) = s_i, i = \overline{1, n}$;

$g = R / \sum_{i=1}^n s_i$), т.е. процедура пропорционального распределения относится к классу механизмов прямых приоритетов.

Механизмы обратных приоритетов

Механизмы обратных приоритетов, в которых $\eta_i(s_i)$ является убывающей функцией $s_i, i = \overline{1, n}$, обладают, несомненно, рядом преимуществ по сравнению с механизмами прямых приоритетов. Проведем анализ механизма обратных приоритетов с функциями приоритета:

$$h_i(s_i) = \frac{A_i}{S_i}, \quad i = \overline{1, n}, \quad (2)$$

где $\{A_i\}$ - некоторые константы. Величина A_i характеризует потери проекта, если i -й исполнитель вообще не получит ресурса. Тогда отношение A_i/S_i определяет удельный эффект от использования ресурса. Поэтому механизмы обратных приоритетов иногда называют механизмами распределения ресурса пропорционально эффективности (ПЭ-механизмами).

Пусть имеются три исполнителя ($n = 3$), $A_1 = 16$; $A_2 = 9$; $A_3 = 4$; $R = 18$. Предположим сначала, что целью исполнителей является получение

максимального количества ресурса. Определим ситуацию равновесия Нэша. Легко заметить, что функция $x_i(s) = \min\{s_i, g(A_i/s_i)\}$ достигает максимума по s_i в точке, удовлетворяющей условию $s_i = \gamma(A_i/s_i)$. Следовательно, $x_i^* = s_i^* = \sqrt{\gamma A_i}$.

Определим параметр γ из балансового ограничения $\sum_{i=1}^n x_i^* = \sqrt{\gamma} \sum_{i=1}^n \sqrt{A_i} = R$. Тогда

$g = \left(R / \sum_{i=1}^n \sqrt{A_i} \right)^2$. Для рассматриваемого примера $\gamma = 4$, а равновесные заявки, определяемые из условия:

$$x_i^* = S_i^* = R \frac{\sqrt{A_i}}{\sum_{j=1}^n \sqrt{A_j}}, \quad (3)$$

равны $s_1^* = 8$; $s_2^* = 6$; $s_3^* = 4$. Проверим, что это действительно равновесие Нэша. Возьмем первого исполнителя. Если он уменьшит свою заявку: $s_1 = 7 < s_1^*$, то $s_1 + s_2^* + s_3^* < R$. Следовательно, $x_1 = s_1 = 7 < x_1^*$. Если же $s_1 = 9 > s_1^*$, то $\gamma \approx 4,5$, $x_1 = 8 \equiv x_1^*$. Таким образом (3) - равновесие Нэша.

Легко показать [2], что стратегии типа (3) являются для исполнителей гарантирующими, то есть максимизируют их эффективности при наихудших стратегиях остальных [5-7].

Если функции предпочтения исполнителей имеют максимумы в точках $\{r_i\}$, то, если $S_i^* > r_i$, то i -й исполнитель закажет ровно r_i и столько же получит, так как при уменьшении заявки его приоритет возрастает. Таким образом, выделяется множество приоритетных исполнителей [6].

Более того, можно показать, что при достаточно большом числе исполнителей механизм обратных приоритетов со штрафами за несовпадение ожидаемого и планируемого эффекта оптимален в смысле суммарной эффективности [2].

2.2.3. Конкурсные механизмы

Одним из условий повышения эффективности управления является разработка механизмов управления, побуждающих исполнителей к максимальному использованию всех резервов, включению в соревнование. Поэтому достаточно широкую распространенность получили так называемые конкурсные механизмы. Их особенностью является то, что исполнители участвуют в соревновании по получению ресурса, льготных условий финансирования, участию в проекте (о конкурсных механизмах формирования состава исполнителей проекта речь шла в разделах 2.1.1 и 2.1.2).

При обсуждении механизмов обратных приоритетов подчеркивалось, что ресурс распределяется пропорционально эффективности $\xi_i = \varphi_i(x_i)/x_i$ его

использования исполнителями. В конкурсном механизме ресурс получают только победители конкурса (на всех исполнителей ресурса может не хватить).

Предположим, что исполнители сообщают ПМ две величины: - заявку на ресурс s_i и оценку ξ_i ожидаемой эффективности его использования. Ожидаемый эффект для проекта в целом от деятельности i -го исполнителя в этом случае равен $w_i = \xi_i s_i$. Упорядочим исполнителей в порядке убывания эффективностей:

$$\xi_1 \geq \xi_2 \geq \dots \geq \xi_n. \quad (1)$$

Понятно, что исполнители могут наобещать золотые горы, лишь бы получить финансирование. Поэтому при использовании конкурсных механизмов ПМ должен организовать действенную систему контроля за выполнением взятых обязательств. Введем систему штрафов:

$$c_i = a(x_i s_i - j_i(s_i)), \quad a > 0, \quad i = \overline{1, n}, \quad (2)$$

пропорциональных отклонению ожидаемой эффективности $\xi_i s_i = w_i$ от реальной - $\varphi_i(s_i)$. Отметим, что величина $(\xi_i s_i - \varphi_i(s_i))$ характеризует обман, на который сознательно идет исполнитель ради победы в конкурсе. Целевая функция исполнителя имеет вид:

$$f_i(j_i, x_i) = \mu j_i(s_i) - a[x_i s_i - j_i(s_i)], \quad i = \overline{1, n}, \quad (3)$$

где μ - доля эффекта, остающаяся в распоряжении исполнителя (то есть $\mu \varphi_i(s_i)$ - его доход). Отметим, что исполнитель штрафует только в случае, если $\xi_i s_i > \varphi_i(s_i)$. Если реальная эффективность оказалась выше ожидаемой, то штрафы равны нулю.

Ресурс R , имеющийся в распоряжении ПМ, распределяется следующим образом: первый исполнитель (исполнитель, имеющий максимальную эффективность) получает ресурс в запрашиваемом объеме s_1 . Затем получает ресурс (в объеме s_2) исполнитель с меньшей (второй по величине) эффективностью и так далее, пока не закончится весь ресурс. То есть ПМ раздает ресурс в требуемом объеме в порядке убывания эффективностей до тех пор, пока не закончится ресурс. Исполнители, получившие ресурс в полном объеме, называются победителями конкурса.

Отметим, что при использовании такой процедуры победа в конкурсе зависит только от величины эффективности ξ_i и не зависит от величины заявки s_i . Поэтому исполнители будут стремиться максимизировать свои целевые функции, то есть закажут такое количество ресурса, чтобы в случае победы значение их целевой функции (3) было максимально.

Обозначим m - максимальный номер исполнителя, победившего в конкурсе (то есть победителями являются исполнители с номерами $j = \overline{1, m}$). Нетрудно показать, что все победители сообщают одинаковые оценки эффективности, т.е.

$\xi_j^* = \xi^*$, $j = \overline{1, m+1}$. Более того, при достаточно общих предположениях о функциях штрафов, конкурсные механизмы обеспечивают оптимальное распределение ресурса [2].

2.2.4 Децентрализованные механизмы распределения ресурса

В больших проектах, задействующих большое число исполнителей, на ПМ ложится значительная нагрузка - при распределении ресурса между исполнителями ПМ должен переработать огромный объем информации об эффективности исполнителей, их потребностях и т.д. В такой ситуации целесообразно «разгрузить» ПМ, введя дополнительные уровни управления - разделить исполнителей на группы (такое разделение может существовать, например, если есть группы исполнителей, производящие различные виды продукции) и поставить во главе каждой группы собственный управляющий орган - менеджера подпроекта. Административная структура такого проекта представлена на рисунке 9.

На верхнем уровне иерархии находится ПМ. Все исполнители нижнего уровня (число которых равно N) разбиты на n непересекающихся групп (n_i - число исполнителей в i -й группе, $i = \overline{1, n}$, $\sum_{i=1}^n n_i = N$). На среднем уровне иерархии находятся n менеджеров подпроектов. В подчинении $ПМ_i$ ($i = \overline{1, n}$) находятся исполнители i -ой группы. Сам $ПМ_i$ подчиняется непосредственно ПМ. Отметим, что на рисунке 9 приведена простейшая веерная структура, в общем же случае связи между элементами могут быть более сложными (один и тот же исполнитель может иметь двойное подчинение и т.д.). Сформулируем теперь задачу распределения ресурса.

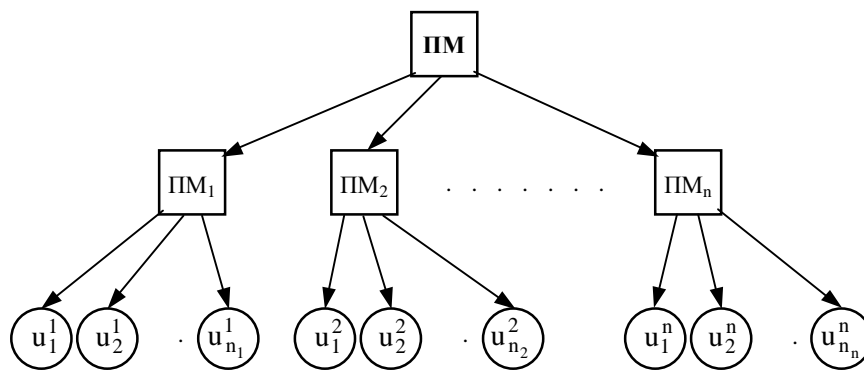


Рис. 9.

В распоряжении ПМ имеется R единиц ресурса. Первая возможность - самому распределить ресурс между N исполнителями (воспользовавшись, например, методами, описанными в разделах 2.2.1 - 2.2.3). Альтернативная возможность - распределить ресурс между менеджерами подпроектов, предоставив им

распределение его между исполнителями. Понятно, что во втором случае ПМ упрощает себе жизнь, однако, не приведет ли такая децентрализация управления к снижению эффективности? Рассмотрим следующий пример.

Пусть имеются N исполнителей $I = \{1, 2, \dots, N\}$, которые разбиты на две группы - I_1 и I_2 ($I_1 \cup I_2 = I$; $I_1 \cap I_2 = \emptyset$). Каждый из исполнителей имеет функцию эффекта следующего вида:

$$f_i(x_i) = x_i - \frac{1}{2r_i} x_i^2, \quad i = \overline{1, n}, \quad (1)$$

где коэффициенты r_i характеризуют оптимальное для i -го исполнителя количество ресурса. Введем следующее предположение: пусть ПМ точно знает функции эффективности исполнителей (в отличие от предыдущих разделов, в которых ПМ получал от исполнителей заявки на ресурс). Тогда ПМ может найти оптимальное распределение ресурса, максимизирующее суммарную эффективность исполнителей. Легко показать, что решение этой задачи с учетом (1) имеет вид:

$$x_i^* = \frac{r_i}{\sum_{i \in I} r_i} R, \quad i = \overline{1, n}, \quad (2)$$

то есть ресурс распределяется пропорционально максимальной эффективности (максимум (1) по x_i достигается при $x_i = r_i$ и равен $r_i/2$). Обозначим $A = \sum_{i \in I} r_i$. Тогда

эффективность механизма равна:

$$\mathcal{E}^* = \sum_{i \in I} f_i(x_i^*) = R \left[1 - \frac{R}{2A} \right]. \quad (3)$$

Пусть теперь ПМ использует децентрализованную структуру управления, то есть разбивает исполнителей на две группы и ставит в их главе ПМ₁ и ПМ₂. Задача распределения ресурса ПМ будет заключаться в выделении ПМ₁ и ПМ₂ ресурса в количествах R_1 и R_2 соответственно ($R_1 + R_2 = R$), после чего каждый из менеджеров подпроектов будет распределять свой ресурс между своими подчиненными с целью максимизации их суммарной эффективности.

Таким образом, каждый из ПМ _{i} ($i = 1, 2$) решит оптимизационную задачу и получит решение вида:

$$x_j^* = \frac{r_j}{\sum_{j \in I_k} r_j} R_k, \quad j \in I_k, \quad k = \overline{1, 2}. \quad (4)$$

Эффективности групп исполнителей при этом будут равны соответственно:

$$\mathcal{E}_k = \sum_{i \in I_k} f_i(x_i^*), \quad k = \overline{1, 2}; \quad \mathcal{E}_1 = R_1 \left[1 - \frac{R_1}{2A_1} \right]; \quad \mathcal{E}_2 = R_2 \left[1 - \frac{R_2}{2A_2} \right], \quad (5)$$

где $A_k = \sum_{i \in I_k} r_i$, $k = \overline{1, 2}$, $A_1 + A_2 = A$.

Сравним теперь эффективность (3) с суммой эффективностей \mathcal{E}_1 и \mathcal{E}_2 в децентрализованном механизме. Во-первых, легко видеть, что

$$\mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 \leq \mathcal{E}^*, \quad (6)$$

то есть децентрализация не дает выигрыша в эффективности. Во-вторых, очевидно, что (6) выполняется как равенство, если:

$$R_i = \frac{A_i}{A} R, \quad i = \overline{1, 2}. \quad (7)$$

Таким образом, если делить ресурс между подгруппами пропорционально их максимальной эффективности (отметим, что на нижнем уровне используется тот же принцип распределения), то потеря эффективности от децентрализации управления не происходит.

Отметим, что мы предполагали полную информированность ПМ (и соответственно ПМ₁ и ПМ₂) о функциях эффекта исполнителей. Это предположение существенно, так как процедуры (4) и (7) используют информацию об идеальной точке $\{g_i\}$.

Рассмотренная в настоящем примере простейшая модель может быть обобщена на случай произвольного конечного числа групп элементов. Общий вывод при этом таков: децентрализация механизма управления в задаче распределения ресурса не повышает эффективности, но зато разгружает ПМ. Для того, чтобы не снижать эффективности при децентрализации, в условиях полной информированности распределять ресурс между группами (и внутри них) следует прямо пропорционально их максимальной эффективности.

До сих пор при рассмотрении децентрализованных механизмов распределения ресурса предполагалось, что ПМ и менеджерам подпроектов известны функции предпочтения исполнителей. Что будет, если отказаться от этого предположения? Очевидно, ПМ вынужден в этом случае использовать механизм с сообщением информации (заявок) исполнителями. Исследуем, изменит ли введение дополнительных уровней управления итоговое распределение ресурса между исполнителями (из проведенного выше анализа нам известно, что процесс децентрализации не может повышать эффективности, поэтому исследуем, при каких условиях он ее не понижает).

Рассмотрим следующий пример. Пусть ПМ использует принцип пропорционального распределения ресурса в объеме R между N исполнителями, то есть:

$$x_i = \frac{s_i}{S} R, \quad i = \overline{1, N},$$

где s_i - заявки исполнителей, $S = \sum_{i=1}^n s_i$ - сумма заявок. Из результатов раздела 2.2.1

мы знаем, что если заявки ограничены ($s_i \leq D, i = \overline{1, N}$), то существует эквивалентный прямой (неманипулируемый) механизм.

Разобьем теперь исполнителей на n групп ($\bigcup_{i=1}^n I_i = I = \{1, \dots, N\}, I_i \cap I_j = \emptyset, i \neq j$) и поставим во главе i -ой группы своего ПМ _{i} . Пусть исполнители сообщают заявки не непосредственно ПМ, а своему «местному» начальнику - ПМ _{i} . Обозначим $s^j = \sum_{i \in I_j} s_i^j$, $j = \overline{1, n}$ - суммарную

заявку в j -й группе (s_i^j - заявка i -го исполнителя, входящего в j -ю группу). Предположим, что ПМ _{i} также использует принцип пропорционального распределения, то есть:

$$x_i^j = \frac{s_i^j}{s^j R^j}, \quad i \in I_j, \quad j = \overline{1, n}, \quad (8)$$

где R^j - количество ресурса, распределяемое между исполнителями из j -ой группы. Логично предположить, что величины R^1, R^2, \dots, R^n ($R^1 + R^2 + \dots + R^n = R$) определяются ПМ на основании заявок $\{S^j\}$, представляемых ПМ _{j} . Таким образом, сначала исполнители сообщают заявки на ресурс своим непосредственным начальникам, а потом те, в свою очередь, сообщают заявки ПМ (заявка каждого менеджера подпроекта, сообщаемая ПМ, равна сумме заявок, полученных им от подчиненных ему исполнителей). Оказывается, что если ПМ при распределении ресурса R между менеджерами подпроектов также использует принцип пропорционального распределения:

$$R^j = \frac{s^j}{S} R, \quad j = \overline{1, n}, \quad (9)$$

то количество ресурса, полученное в этом децентрализованном механизме каждым из исполнителей в точности совпадает с (7). То есть в рассматриваемом примере введение децентрализации не изменило конечного распределения ресурса между исполнителями. Это, в некоторой степени, неудивительно, так как менеджеры подпроектов работали, фактически, «передатчиками» (пассивными) информации от исполнителей ПМ. Однако то, что при агрегировании информации (в цепочке исполнитель - ПМ _{i} - ПМ верхний уровень управления обладает меньшей информацией, то есть не знает, кто из исполнителей какую заявку сообщил, а получает лишь агрегаты - суммарные заявки от групп исполнителей) удается получить в точности то же распределение, что и в исходной двухуровневой системе, является несомненным достоинством этого механизма.

2.2.5. Механизмы распределения затрат

Выше рассматривались механизмы распределения ресурса, в которых исполнители являлись потребителями этого ресурса. Задача, стоявшая перед ПМ, заключалась в поиске механизма, удовлетворяющего тем или иным свойствам: оптимальность (в смысле максимальной эффективности), неманипулируемость и

т.д. Двойственной, в некотором смысле, к задаче распределения ресурса является задача распределения затрат.

Предположим, что исполнители проекта заинтересованы (причем каждый - в той или иной степени) в производстве (покупке) некоторого общественного блага. В качестве общественного блага может выступать новая технология, производственное оборудование, эксперт, информация и т.д. Смысл термина «общественное» заключается в том, что пользоваться этим благом может каждый из исполнителей. Стоимость (цена) этого блага фиксирована, следовательно, для того, чтобы произвести его (купить) исполнителям необходимо «скинуться» и наслаждаться потреблением этого блага (предполагается, что от потребления каждый исполнитель получает определенный доход). Вопрос заключается в том - сколько должен заплатить каждый из исполнителей или, другими словами, как распределить затраты между исполнителями.

Если ПМ знает «степень удовлетворения» каждого из исполнителей от пользования общественным благом, то можно предлагать различные принципы распределения затрат - поровну, пропорционально потребности в потреблении и т.д. Какой из этих принципов является наиболее «справедливым» - отдельный вопрос. Но, как правило, потребности исполнителей известны только им самим. А если затраты исполнителя зависят от его сообщений (которые невозможно или достаточно трудно проверить), то он, очевидно, постарается внести поменьше и «прокатиться» за счет других. Следовательно, как и в механизмах распределения ресурса, в механизмах распределения затрат возникает проблема манипулируемости.

Для начала рассмотрим простейший пример. Пусть имеются два города (исполнители), разделенные рекой. Они обращаются в строительную фирму, специализирующуюся на строительстве мостов. Фирма объявляет, что готова построить мост за C единиц (положим $C = 1$). Доходы городов от использования моста равны $q_1 = 0.4$ и $q_2 = 1.2$ единиц соответственно. Понятно, что строительство моста (мост - общественное благо) выгодно для городов, так как $q_1 + q_2 > C$. Как же следует поделить затраты между ними, то есть, сколько должен заплатить первый город - C_1 , а сколько второй - C_2 ($C_1 + C_2 = C$). Рассмотрим некоторые возможные варианты.

1. Принцип равного распределения. Положим $C_1 = C_2 = C/2$. Если $q_1 > C/2$ и $q_2 > C/2$, то есть если значения целевых функций

$$f_i = q_i - C_i, \quad i = 1, 2, \quad (1)$$

неотрицательны, то этот вариант является допустимым (в нашем примере это не так). Отметим, что он является неманипулируемым (у исполнителей ничего не спрашивают). Однако не всегда принцип равного распределения является «справедливым», так как, если априори известно, что $q_1 \neq q_2$, то есть, если доходы от потребления не равны, то, наверное, будет неправильно заставлять исполнителей платить поровну.

2. Принцип пропорционального распределения. Примем следующий принцип - «кому общественное благо нужнее, пусть тот больше и платит», то есть разделим затраты пропорционально доходу:

$$C_i = \frac{s_i}{S} C, \quad (2)$$

где $S = s_1 + s_2$, а s_i - сообщаемая ПМ оценка дохода i -го исполнителя. Проанализируем механизм (2). Очевидно,

$$s_1 + s_2 \geq C, \quad (3)$$

так как если $s_1 + s_2 < C$, то строительство моста невыгодно (суммарный доход меньше затрат на строительство). Для того, чтобы целевые функции (1) были неотрицательны, потребуем:

$$C_1 \leq q_1; \quad C_2 \leq q_2. \quad (4)$$

Таким образом, (2) - (4) задает допустимую область заявок (s_1, s_2) , заштрихованную на рисунке 10.

Так как (2) монотонна по s_i , а целевая функция убывает по C_i , то оба исполнителя будут стремиться снизить заявки. Равновесием Нэша при этом будет множество пар заявок (s_1^*, s_2^*) , изображенных на рисунке 10 отрезком АВ (действительно, увеличивая s_i , i -й исполнитель увеличивает свои затраты, уменьшая s_i он останавливает строительство моста, которое ему выгодно в силу (3) - (4)). Интересно отметить, что сообщение достоверной информации в механизме пропорционального распределения не является равновесием (точка Р на рисунке 10 не принадлежит отрезку АВ).

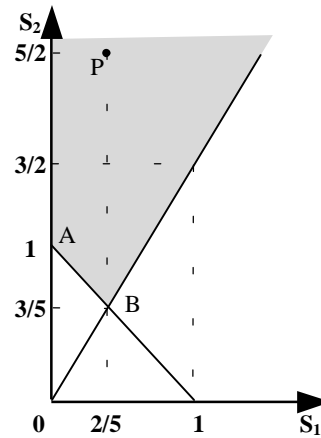


Рис. 10.

Если исполнители знают истинные доходы друг друга, то имеет место «борьба за первый ход». Например, первый исполнитель сообщает $s_1 = 0$ ($C_1 = 0$), перекладывая все затраты на второго (он вынужден объявить $s_2 = 1$ ($C_2 = 1$)).

Легко видеть, что механизм пропорционального распределения является механизмом равных рентабельностей. Определим рентабельность i -го исполнителя $\rho_i = (s_i - C_i)/C_i$ как отношение прибыли к затратам (прибыль определяется по

сообщению исполнителя s_i). Подставляя в (2) получим, что $p_1=p_2$, то есть рентабельности исполнителей равны (истинные рентабельности, определяемые как $(q_i - C_i)/C_i$ при этом могут быть и не равны).

3. Принцип равных прибылей. Рассмотрим следующий механизм:

$$C_1 = \frac{C}{2} + \frac{(s_1 - s_2)}{2}; \quad C_2 = \frac{C}{2} + \frac{(s_2 - s_1)}{2}. \quad (5)$$

Принимая во внимание ограничения (3) - (4) и стремление исполнителей манипулировать C_i , получим, что множеством равновесий Нэша опять является отрезок АВ на рисунке 10. Отметим, что при использовании данного механизма уравниваются прибыли исполнителей, вычисленные по (s_1, s_2) .

Приведенные выше три принципа распределения затрат легко обобщаются на случай любого конечного числа исполнителей и, естественно, не исчерпывают все возможные варианты - на сегодняшний день известны и используются несколько десятков различных принципов [11]. В большинстве из них вопрос о манипулируемости остается открытым. Для ряда случаев удалось предложить неманипулируемые механизмы (см. более подробно [11]). Мы рассмотрим один частный случай.

В разделе 2.2.1 удалось показать, что для любого механизма распределения ресурса существует неманипулируемый механизм не меньшей эффективности. Попробуем перенести этот результат на определенный класс механизмов распределения затрат, которые, как отмечалось выше, являются двойственными к механизмам распределения ресурса.

Пусть имеются n исполнителей, имеющих целевые функции

$$f_i = q_i - j_i(C_i), \quad i = \overline{1, n}, \quad (6)$$

где q_i - доход i -го исполнителя от пользования общественным благом, C_i - его вклад, $\phi_i(C_i)$ - затраты. Предположим, что $\phi_i(\cdot)$ имеет единственную точку минимума r_i . Вклад i -го исполнителя определяется ПМ на основании заявок $s = (s_1, \dots, s_n)$ исполнителей: $C_i = \pi_i(s)$, где $\pi_i(\cdot)$ - строго монотонна по s_i . Величина s_i может интерпретироваться как мнение i -го исполнителя о справедливом с его точки зрения вкладе за пользование общественным благом.

Пусть заявки исполнителей ограничены снизу, то есть $s_i \geq d_i, i = \overline{1, n}$. Задача состоит в следующем - на основании заявок исполнителей $\{s_i\}$ распределить затраты (C_1, C_2, \dots, C_n) так, чтобы $C_1 + C_2 + \dots + C_n = C$, где C - затраты на создание общественного продукта.

По аналогии с механизмами распределения ресурса проанализируем, какие заявки будут сообщать исполнители. Пусть s^* - равновесные заявки, тогда, если $\pi_i(s^*) > r_i$, то $s_i^* = d_i$, если $s_j^* > d_j$, тогда $\pi_j(s^*) = r_j$. Как и в механизме распределения ресурса, построим алгоритм определения равновесия в зависимости от идеальных точек $\{r_i\}$:

1. Распределим затраты, считая $s_i^* = d_i, i = \overline{1, n}$. Если у j -го элемента $\pi_j(s) < r_j$, считаем $C_j = r_j$, а «излишек» $(r_j - \pi_j(s))$ распределим между остальными исполнителями.

2. Повторим эту процедуру (конечное число раз) до тех пор, пока все исполнители не разделятся на два непересекающихся подмножества - приоритетных (вносящих ровно столько, сколько они считают справедливым) и остальных (сообщающих в равновесии минимальную заявку).

В эквивалентном прямом механизме, в котором исполнители сообщают свое мнение $\{r_i\}$ о справедливом распределении, ПМ вычисляет на основании сообщенных оценок $s^*(r)$ в соответствии с приведенным выше алгоритмом. Легко показать, что в этом прямом механизме сообщение достоверной информации является равновесием Нэша, то есть механизм является неманипулируемым.

Таким образом, в рассмотренной модели (мы предположили (6) и отказались от ограничения (3) - (4)) для любого механизма распределения затрат найдется неманипулируемый механизм не меньшей эффективности.

В заключение настоящего раздела отметим, что механизмы распределения затрат могут рассматриваться и как механизмы финансирования самого проекта. В последнем случае стороны, заинтересованные в реализации проекта, должны распределить затраты по его финансированию. Задача ПМ при этом заключается в том, чтобы предложить эффективный и «справедливый» механизм.

Глава 3 ФИНАНСИРОВАНИЕ ПРОЕКТА

3.1. Смешанное финансирование и кредитование

Крупные проекты, как правило, редко финансируются из одного источника. Инициаторы проекта стараются привлечь средства федерального и регионального бюджетов, различные фонды, средства частных фирм и т.д. Задача финансирования в этом случае относится к классу задач распределения затрат, рассмотренных в предыдущей главе.

Рассмотрим механизмы смешанного финансирования проектов. Примем для определенности, что имеется n типов региональных проектов (социальной защиты, охраны окружающей среды, строительства дорог и т.д.), к реализации которых желательно привлечь средства частных фирм. Однако, проекты могут быть экономически невыгодны для частных фирм, поскольку отдача от них (эффект на единицу вложенных средств) меньше 1. Обозначим эффект от проектов на единицу вложенных средств для i -й фирмы через a_i ($a_i < 1, i = \overline{1, n}$).

Региональный бюджет ограничен и явно недостаточен для реализации необходимого числа проектов. Однако, частные фирмы не прочь получить бюджетные деньги либо льготный кредит. Идея смешанного финансирования состоит в том, что бюджетные средства или льготный кредит выдаются при условии, что фирма обязуется выделить на проект и собственное финансирование. Как правило, на практике фиксируется доля средств, которую должна обеспечить фирма (например, 20% средств выделяется из бюджета, а 80% - составляют собственные средства фирмы). Однако, такая жесткая фиксация доли бюджетных средств имеет свои минусы. Если эта доля мала, то будет незначительным и объем частных средств, а если велика, то, во-первых, желающих вложить собственные средства будет слишком много, и придется проводить дополнительный отбор (например, на основе конкурсных механизмов), а во-вторых, уменьшается эффективность использования бюджетных средств. Ниже рассматривается механизм смешанного финансирования с гибко настраиваемой величиной доли бюджетного финансирования.

Дадим формальную постановку задачи разработки механизма смешанного финансирования. Имеются n фирм - потенциальных инвесторов в программы социального развития региона. Имеется также централизованный фонд финансирования программ развития. Каждая фирма предлагает для включения в программу социального развития проекты, требующие суммарного финансирования S_i . Эти проекты проходят экспертизу, в результате которой определяется их социальная ценность $f_i(S_i)$. Помимо социальной ценности, предлагаемый фирмой пакет проектов имеет экономическую ценность $\varphi_i(S_i)$ для фирмы. На основе заявок фирм Центр (менеджер проекта, руководство региона и т.д.) определяет объемы финансирования проектов фирм $\{x_i\}$ (как правило, $x_i \leq S_i$), исходя из ограниченного объема бюджетных средств R . Процедура $\{x_i = \pi_i(S)\}$,

$i = \overline{1, n}$ } называется механизмом смешанного финансирования. Дело в том, что недостающие средства $y_i = S_i - x_i$ фирма обязуется обеспечить за свой счет. Таким образом, интересы фирмы описываются выражением:

$$\varphi_i(S_i) - y_i, \quad (1)$$

где $\varphi_i(S_i)$ - доход фирмы (если фирма берет кредит y_i в банке, то учитывается процент за кредит). Задача центра заключается в том, чтобы разработать такой механизм $\pi(S)$, который обеспечит максимальный социальный эффект:

$$\Phi = \sum_{i=1}^n f_i(S_i^*),$$

где $S^* = \{S_i^*\}$ - равновесные стратегии фирм (точка Нэша соответствующей игры).

Рассмотрим линейный случай, когда $\varphi_i(S_i) = a_i S_i$, $f_i(S_i) = b_i S_i$, $0 < a_i < 1$, $b_i > 0$, $i = \overline{1, n}$. Проведем анализ механизма прямых приоритетов

$$x_i(\bar{S}) = \frac{\mathbf{1}_i S_i}{\sum_j \mathbf{1}_j S_j} R, \quad i = \overline{1, n}, \quad (2)$$

где $\mathbf{1}_i$ - приоритет i -й фирмы, $\bar{S} = (S_1, S_2, \dots, S_n)$. Примем без ограничения общности, что $R = 1$. Заметим, что в данном случае может иметь место $x_i(S) > S_i$ (фирма получает средств больше, чем заявляет). Будем считать, что в этом случае разность $x_i(S) - S_i$ остается у фирмы.

Определим ситуацию равновесия Нэша. Для этого подставим (2) в (1) и определим максимум по S_i выражения

$$a_i S_i - \left(S_i - \frac{\mathbf{1}_i S_i}{L(S)} \right) = \frac{\mathbf{1}_i S_i}{L(S)} - (1 - a_i) S_i, \quad \text{где } L(S) = \sum_j \mathbf{1}_j S_j.$$

После несложных вычислений получим:

$$\mathbf{1}_i S_i = L(S) [1 - q_i L(S)], \quad \text{где } q_i = \frac{1 - a_i}{\mathbf{1}_i}.$$

Из условия

$$\sum_i \mathbf{1}_i S_i = L(S)$$

определяем

$$L(S^*) = \frac{(n-1)}{Q} \quad \text{и} \quad S_i^* = \frac{(n-1)}{\mathbf{1}_i \cdot Q} \left[1 - \frac{(n-1)q_i}{Q} \right], \quad (3)$$

где $Q = \sum_i q_i$. При этом должно, очевидно, выполняться условие $S_i^* \geq 0$ или

$$\frac{q_i}{Q} < \frac{1}{n-1}, \quad i = \overline{1, n}. \quad (4)$$

Если это условие нарушается, то соответствующие фирмы выбывают из состава претендентов. С новыми значениями Q и n вычисления следует повторить. Если при этом появляются новые фирмы, для которых нарушается (4), то эти фирмы также выбывают, и т.д. За конечное число шагов будет получена ситуация равновесия, такая, что для всех фирм выполняется (4). Пусть фирмы упорядочены по возрастанию q_i , то есть $q_1 \leq q_2 \leq \dots \leq q_n$. Для определения числа фирм - претендентов на участие в социальных программах развития региона необходимо найти максимальное k такое, что

$$q_i < \frac{Q_k}{k-1}, \text{ где } Q_k = \sum_1^k q_i, \quad i = \overline{1, k}.$$

Пример 1. Значения a_i , I_i и q_i приведены в таблице.

	1	2	3	4	5	6
a_i	0,9	0,6	0,1	0,12	0,75	0,1
I_i	1	2	3	2,2	0,5	1,5
q_i	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6

Нетрудно определить, что максимальное $k = 3$. Действительно:

$$\frac{q_1 + q_2}{1} = 0,3 > q_2 = 0,2,$$

в то же время

$$\frac{q_1 + q_2 + q_3}{2} = 0,3 = q_3 = 0,3.$$

Таким образом, претендентами на участие в программе по схеме смешанного финансирования являются первые две фирмы. Если $b_i = I_i$ для всех i , то суммарный эффект от программы составляет (с учетом $R=1$)

$$L(S^*) = \frac{(n-1)}{Q_3} = 3\frac{1}{3},$$

а суммарное финансирование $S^* = 2\frac{7}{9}$. Таким образом, финансирование программы в $2\frac{7}{9}$ раза превышает бюджетные средства. Заявки фирм в равновесии

$$S_1^* = 2\frac{2}{9}, \quad S_2^* = 1\frac{5}{9}.$$

В рассмотренном примере мы взяли $I_i = b_i, \quad i = \overline{1, n}$. Поставим задачу определить механизм прямых приоритетов, обеспечивающий максимум социального эффекта. Необходимо определить приоритеты $\{I_i\}$ таким образом, чтобы суммарный эффект был максимальным. Задача сводится к определению $\{I_i \geq 0\}$ таких, что

$$\sum_{i=1}^n b_i S_i^* = \sum_{i=1}^n \frac{b_i(n-1)R}{\mathbf{1}_i Q} \left[1 - \frac{(n-1)q_i}{Q} \right] \quad (5)$$

принимает максимальное значение. Заменой $\mathbf{1}_i = (1-a_i)/q_i$, $q_i/Q = \alpha_i$, $p_i = (1-a_i)/b_i$ приведем (5) к виду

$$\Phi = \sum_{i=1}^n \frac{i(n-1)a_i}{p_i} [1 - (n-1)a_i]. \quad (6)$$

Необходимо определить $\{\alpha_i \geq 0\}$, $\sum_{i=1}^n a_i = 1$, при которых (6) максимален.

Применяя метод множителей Лагранжа, получим

$$\mathbf{1}_i^0 = \frac{1+(n-2)b_i}{2(n-1)}, \quad b_i = \frac{p_i}{\sum_j p_j}, \quad i = \overline{1, n}. \quad (7)$$

Соответственно

$$\mathbf{1}_i^0 = \frac{1-a_i}{a_i^0}, \quad i = \overline{1, n}$$

(с точностью до постоянного множителя). Интересно отметить, что в случае двух фирм оптимальные приоритеты не зависят от коэффициентов при функциях социального эффекта b_1 и b_2 .

Пример 2. Определим оптимальные приоритеты для задачи примера 1. Для случая двух фирм имеем

$$a_1^0 = a_2^0 = \frac{1}{2}$$

и, подставляя в (6), получаем

$$p_1 = 0,1; \quad p_2 = 0,2; \quad \beta_1 = 1/3; \quad \beta_2 = 2/3;$$

$$\Phi = \left[\frac{a_1^0}{p_1} (1-a_1^0) + \frac{a_2^0}{p_2} (1-a_2^0) \right] = 3 \frac{3}{4},$$

что больше $3^{1/3}$. Увеличилось и суммарное финансирование до $3^{1/8}$.

При оптимальных приоритетах может измениться число фирм - претендентов на участие в программе. Поэтому необходимо проверить варианты с тремя фирмами и более. Рассмотрим вариант с тремя фирмами. Имеем:

$$p_1 = 0,1; \quad p_2 = 0,2; \quad p_3 = 0,3; \quad \beta_1 = 1/6; \quad \beta_2 = 1/3; \quad \beta_3 = 1/2;$$

$$a_1^0 = \frac{1+b_1}{4} = \frac{7}{24}; \quad a_2^0 = \frac{1+b_2}{4} = \frac{1}{3}; \quad a_3^0 = \frac{1+b_3}{4} = \frac{3}{8}.$$

Поскольку все $\{\alpha_i^0\}$ меньше $1/2$, то условия (4) выполнены. Подставляя в (6), получаем:

$$\Phi = 2 \left[\frac{a_1^0}{p_1} (1 - 2a_1^0) + \frac{a_2^0}{p_2} (1 - 2a_2^0) + \frac{a_3^0}{p_3} (1 - 2a_3^0) \right] = 4 \frac{1}{6}.$$

Как видим, эффективность механизма смешанного финансирования увеличилась. Рассмотрим случай четырех фирм. Имеем:

$$p_1 = \beta_1 = 0,1; \quad p_2 = \beta_2 = 0,2; \quad p_3 = \beta_3 = 0,3; \quad p_4 = \beta_4 = 0,4;$$

$$a_1^0 = \frac{1+2b_1}{6} = 0,2; \quad a_2^0 = \frac{1+2b_2}{6} = \frac{7}{30}; \quad a_3^0 = \frac{4}{15}; \quad a_4^0 = 0,3.$$

Условия (4) по-прежнему выполняются. Суммарный социальный эффект составит:

$$\frac{\Phi}{R} = 3 \sum_{i=1}^4 \frac{a_i^0}{p_i} (1 - 3a_i^0) =$$

$$3 \left[\frac{0,2 \cdot 0,4}{0,1} + \frac{7 \cdot 0,3 \cdot 0,5}{30} + \frac{8}{45} + 0,1 \cdot 0,3 \cdot 2,5 \right] = 4 \frac{5}{24} > 4 \frac{1}{6}.$$

Поскольку социальный эффект опять увеличился, необходимо проверить случай $n = 5$. Имеем:

$$p_1 = 0,1; \quad p_2 = 0,2; \quad p_3 = 0,3; \quad p_4 = 0,4; \quad p_5 = 0,5;$$

$$\beta_1 = 1/15; \quad \beta_2 = 2/15; \quad \beta_3 = 1/5; \quad \beta_4 = 4/15; \quad \beta_5 = 1/3;$$

$$a_1^0 = \frac{1+3b_1}{8} = \frac{6}{40}; \quad a_2^0 = \frac{7}{40}; \quad a_3^0 = \frac{8}{40}; \quad a_4^0 = \frac{9}{40}; \quad a_5^0 = \frac{10}{40}.$$

Условие (4) не выполняется для пятой фирмы. Поэтому оптимальное решение включает четыре фирмы претендента с суммарным социальным эффектом $4^{5/24}$. За счет выбора оптимального механизма смешанного финансирования удалось увеличить социальный эффект примерно на 25% при том же объеме бюджетного финансирования.

Рассмотрим теперь нелинейный случай. Примем, что эффект от реализации проектов для i -й фирмы составляет

$$j_i(S_i) - y_i = \frac{1}{a} S_i^a r_i^{1-a}, \quad 0 < a < 1 \quad (8)$$

В этом случае интересы фирмы описываются выражением

$$j_i(S_i) - y_i = \frac{1}{a} S_i^a r_i^{1-a} - (S_i - x_i). \quad (9)$$

Проведем анализ механизма прямых приоритетов

$$p_i(S) = \frac{S_i}{\sum_j S_j}.$$

Примем, что имеет место гипотеза слабого влияния, согласно которой фирмы не учитывают влияния своей заявки на общий множитель $\left(\sum S_j\right)^{-1}$. В этом случае равновесная заявка i -й фирмы определяется из условия

$$\left(\frac{r_i}{S_i}\right)^{1-a} = 1 - \frac{1}{S} \quad (10)$$

или

$$S_i = r_i \left(1 - \frac{1}{S}\right)^{-\frac{1}{1-a}}, \quad (11)$$

где S определяется из уравнения

$$H = S \left(1 - \frac{1}{S}\right)^{\frac{1}{1-a}}, \quad H = \sum_j r_j. \quad (12)$$

Нетрудно видеть, что уравнение (12) всегда имеет единственное решение $S^* > 1$. Покажем, что всегда имеет место $S^* > H$. Это следует из очевидного неравенства в случае $H > 1$:

$$\left(1 - \frac{1}{H}\right)^{\frac{1}{1-a}} < 1.$$

Таким образом, механизм смешанного финансирования обеспечивает привлечение средств частных фирм большее, чем в случае непосредственного финансирования фирмами проектов. Действительно, при непосредственном финансировании фирма i получает максимум прибыли при объеме финансирования $S_i = r_i$. Поэтому суммарное привлечение средств частных фирм в случае прямого финансирования составит ровно H .

Интересно оценить отношение $u = S/H$ в зависимости от параметра α . Делая в (12) замену переменных $S = uH$, получим уравнение для u :

$$u \left(1 - \frac{1}{uH}\right)^{\frac{1}{1-a}} = 1. \quad (13)$$

Анализ этого уравнения показывает, что с ростом α растет u . Таким образом, эффект от механизма смешанного финансирования тем больше, чем больше параметр α в функциях эффекта фирм.

Рассмотрим теперь задачу выбора оптимального механизма смешанного финансирования для линейного случая на множестве механизмов смешанного финансирования следующего вида:

$$p_i(S) = \frac{S_i^b}{\sum_j S_j^b}, \quad i = \overline{1, n}. \quad (14)$$

Прибыль фирмы в этом случае будет равна

$$j_i(S_i) - (S_i - p_i(S)) = a_i S_i - \left(S_i - \frac{S_i^b}{\sum_j S_j^b} \right). \quad (15)$$

Равновесная заявка определяется из системы уравнений

$$\frac{b S_i^{b-1}}{\sum_j S_j^b} = 1 - a_i, \quad i = \overline{1, n}. \quad (16)$$

В данном случае мы также предполагаем гипотезу слабого влияния. Из (16) получаем:

$$S_i = \left[\frac{1}{b} (1 - a_i) \sum_j S_j^b \right]^{\frac{1}{b-1}},$$

где $S(b) = \sum_j S_j^b$ определяется из уравнения

$$S(b) = \left[\frac{1}{b} S(b) \right]^{\frac{b}{b-1}} \sum_{j=1}^n (1 - a_j)^{\frac{b}{b-1}}.$$

Имеем

$$S(b) = b \left[\sum_{j=1}^n (1 - a_j)^{\frac{b}{b-1}} \right]^{-b-1}.$$

Окончательно получаем

$$S_i = b \cdot \frac{(1 - a_i)^{\frac{1}{b-1}}}{\sum_j (1 - a_j)^{\frac{b}{b-1}}}.$$

Суммарное финансирование проектов всеми фирмами составит

$$S = b \cdot \frac{\sum_j (1 - a_j)^{\frac{1}{b-1}}}{\sum_j (1 - a_j)^{\frac{b}{b-1}}}.$$

В случае, если все фирмы одинаковы, то есть $a_i = a, i = \overline{1, n}$, имеем:

$$S = \frac{b}{1-a},$$

то есть с ростом β растет и суммарное финансирование. Отсюда следует, что оптимальный механизм по сути дела соответствует конкурсному механизму, когда в первую очередь средства выделяются фирме, предложившей максимальную заявку. Заметим, что проведенный анализ не учитывал важного практического ограничения, когда фирма получает финансирование не более заявленного. Анализ при учете этого условия, так же, как и анализ случая разных фирм, является более сложным и требует дополнительных исследований.

3.2. Механизмы страхования

Результаты деятельности участников проекта (и ПМ, и исполнителей) подвержены воздействию неопределенных и случайных факторов. Внешние обстоятельства могут оказаться как благоприятными, так и неблагоприятными - имеет место известная дилемма «риск - доходность». Одним из методов защиты от отрицательных последствий невыполнения проекта является использование механизмов страхования. На настоящий момент известно множество видов и схем страхования [6, 9 и др.].

Мы рассмотрим некоторые свойства механизмов страхования, возникающие как следствие активного поведения исполнителей, ПМ и/или страховщика (страховой компании).

Основная цель страхования заключается в перераспределении рисков: если у нескольких экономических объектов существует небольшой риск возникновения страхового случая, при котором они несут существенные издержки, то им может оказаться выгодным «объединить усилия» - создать фонд, используемый для возмещения (как правило, частичного) потерь. В роли аккумулятора могут выступать сами экономические объекты (взаимное страхование, имеющее наименьшую коммерческую направленность), государство (государственное страхование) или частные страховые компании (коммерческое страхование).

Страховой случай является недетерминированной величиной, и даже при известном распределении вероятностей, несмотря на использование в моделях страхования ожидаемых значений, вероятность разорения страховщика при работе с малым числом страхователей выше, чем при страховании многих. Это очевидное свойство - увеличение стабильности страхового портфеля с ростом числа страхователей у одного и того же страховщика, лежит, фактически, в основе всего страхового дела.

Структура и стиль изложения данного раздела несколько отличаются от принятых в настоящей книге. Мы не будем формулировать сразу окончательную модель механизма страхования и анализировать результаты ее использования, а попытаемся пройти тот путь, который проходит специалист по управлению проектами при синтезе того или иного механизма. Ведь далеко не всегда удается сразу получить адекватную действительности модель, удовлетворяющую разумным требованиям и свойствам. Как правило, синтез модели - длительный процесс,

закрывающийся в последовательном рассмотрении целого ряда подходов, анализе их свойств, выявлении неучтенных факторов и т.д.

Рассмотрим следующую модель взаимного страхования. Пусть в проекте участвуют n исполнителей. Результатом деятельности каждого исполнителя является случайная величина, принимающая одно из двух значений, соответствующих невыполнению задания и успешному выполнению. Вероятность невыполнения задания i -м исполнителем - p_i известна ПМ. В частности, величина p_i может быть определена из анализа соответствующего контракта (см. разделы 2.1.3 и 4.2) при известной системе стимулирования. Отметим, что рассматриваемая модель непосредственно обобщается на случай любого конечного числа возможных результатов деятельности исполнителей. Для простоты положим, что отказывает один исполнитель.

Пусть в случае отказа хотя бы одного исполнителя проект считается невыполненным. Тогда без использования страхования проект скорее всего не будет завершен. Такое положение дел вряд ли можно признать удовлетворительным. Пусть в случае отказа i -го элемента для успешного завершения проекта необходимо дополнительное финансирование в объеме r_i . Величины $\{r_i\}$ неизвестны ПМ, и он вынужден использовать оценки $\{s_i\}$ сообщаемые исполнителями. Если ПМ хочет обеспечить обязательное выполнение проекта, то он должен иметь резерв $R' = \max_i \{r_i\}$. Но так как $\{r_i\}$ ему неизвестны, то будем считать, что резерв (страховой фонд) определяется:

$$R = \max_i \{s_i\}.$$

Рассмотрим целевые функции исполнителей. Исполнитель с номером i получает доход H_i , выплачивает страховой взнос $I_i(s)$, где $s = (s_1, \dots, s_n)$ - сообщения исполнителей. В благоприятной для него ситуации он имеет затраты C_i , в неблагоприятной - $(C_i + r_i)$. В неблагоприятной ситуации исполнитель получает страховое возмещение s_i . Таким образом ожидаемое значение целевой функции i -го исполнителя определяется выражением:

$$f_i = H_i - I_i(s) - C_i + p_i(s_i - r_i). \quad (1)$$

Пусть ПМ использует следующую процедуру для определения страхового взноса:

$$I_i(s) = \frac{(p_i s_i)}{\sum_{j=1}^n (s_j p_j)} R, \quad (2)$$

т.е. каждый исполнитель делает в страховой фонд взнос, пропорциональный своей заявке (очевидно, $\forall s \sum_{i=1}^n I_i(s) = R \quad \forall i = \overline{1, n}$ $I_i(s)$ - возрастает по s_i). Легко

видеть, что максимум выражения $(p_i s_i - I_i(s))$ по s_i при фиксированной обстановке

$s_i = (s_1, s_2, \dots, s_{i-1}, s_{i+1}, \dots, s_n)$ достигается при $S_i = \max_{j \neq i} \{s_j\}$. Очевидно, сообщение

достоверной информации в общем случае не будет равновесием Нэша. Более того, равновесной оказывается каждая ситуация игры, в которой все исполнители сообщают одинаковые заявки. Внимательный читатель давно заметил, что вместо (2) достаточно взять $I_i(S) = p_i s_i$. Тогда целевая функция исполнителей не будет зависеть от s_i и, в силу гипотезы благожелательности, он сообщит $s_i = r_i, i = \overline{1, n}$. Итак, каждый исполнитель вносит в страховой фонд взнос, в точности равный ожидаемой нехватке средств. Но при этом сумма взносов может оказаться меньше

требуемых выплат ($\exists j: r_j > \sum_{i=1}^n p_i r_i$). Такую возможность надо учитывать, и

использовать ожидаемые значения следует очень аккуратно.

Итак, исследовав предложенный механизм, мы приходим к неутешительному выводу, что либо равновесие имеет сложную структуру и соответствует искажению информации, либо страхование, как таковое, теряет смысл - исполнитель отдает в страховой фонд столько, сколько из него и получает (при этом может нарушиться требование обязательного выполнения проекта и необходимо использовать другие механизмы определения страхового взноса).

Рассмотрим теперь проект, в котором отказы исполнителей независимы и происходят с вероятностями $\{p_i\}$. Соответственно может отказать один исполнитель, два и т.д.

Пусть один страховщик работает с n страхователями. Обозначим H_i - доход i -го исполнителя в благоприятной ситуации, доход равен нулю при страховом случае, I_i - страховой взнос, R_i - страховое возмещение, p_i - вероятность наступления страхового случая, C_i - затраты. Тогда ожидаемое значение целевой функции i -го исполнителя имеет вид:

$$f_i = (1 - p_i)H_i + p_i R_i - C_i - I_i, \quad i = \overline{1, n}.$$

Страховщик получает в свой фонд сумму $\sum_{i=1}^n I_i = R_i$ и выплачивает в среднем

$R = \sum_{i=1}^n p_i R_i$. Определим, каким требованиям должен удовлетворять механизм

страхования.

1. Система страхования не должна побуждать исполнителя «способствовать» наступлению страхового случая (например, страховое возмещение в случае пожара не должно превышать стоимости сгоревшего объекта и т.д.). Это значит, что в благоприятном случае целевая функция исполнителя должна принимать большее значение, чем в страховом, то есть $R_i \leq H_i, i = \overline{1, n}$.

Введенное ограничение отражает свойство морального риска (moral hazard), учет которого необходим при исследовании механизмов страхования. Действительно, людям свойственно изменять свое поведение, избавившись от риска (точнее - переложив его на плечи других людей или организаций). Так, например, человек, застраховавший свою машину от угона, станет менее внимателен к ее безопасности; человек, застраховавший свою дачу от пожара, вряд ли будет покупать новые огнетушители и т.д.

Второе свойство, характерное для механизмов страхования - проблема некорректного отбора (adverse selection): потенциальные страхователи могут обладать информацией, недоступной для страховщика. Так, например, страхование от несчастного случая гораздо более привлекательно для человека рассеянного и забывчивого, чем для аккуратного и внимательного.

2. Страхование должно иметь смысл для исполнителя, то есть:

$$\mathbf{I}_i \leq p_i R_i, \quad i = \overline{1, n}.$$

3. Потребуем, чтобы значения целевых функций исполнителей были неотрицательны:

$$H_i - C_i - \mathbf{I}_i \geq 0, \quad i = \overline{1, n},$$

$$R_i - C_i - \mathbf{I}_i \geq 0, \quad i = \overline{1, n}.$$

4. Страхование должно иметь смысл для страховщика, то есть:

$$\sum_{i=1}^n \mathbf{I}_i - \sum_{i=1}^n R_i p_i \geq 0.$$

Последнее условие означает, что ожидаемые страховые выплаты исполнителям не должны превосходить их суммарных страховых взносов. Это, однако, не гарантирует защищенности страховщика от разорения. К ограничению пункта 4 можно добавить условие того, что вероятность выплат, превосходящих страховой фонд, не должна превышать некоторой, наперед заданной, достаточно малой величины. Нулевое значение в правой части неравенства соответствует взаимному страхованию (нагрузки к нетто-ставкам минимальны - равны нулю). В случае коммерческого страхования страховщик должен обеспечить средства для собственной деятельности и, соответственно, получить ненулевой доход.

Если страховщик, как это часто делается на практике, устанавливает единые для всех условия страхования, то можно ввести норматив $\alpha \geq 0$ отчислений в страховой фонд: $\mathbf{I}_i = \alpha H_i$ и норматив $\beta \geq 0$ страхового возмещения $R_i = \beta H_i$. Тогда ограничения пунктов 1 - 4 примут вид:

$$\begin{cases} b \leq 1 \\ b - 1 \geq \frac{C_i}{H_i} \\ a \leq 1 - \max_i \left\{ \frac{C_i}{H_i} \right\} \\ a \leq b \cdot \min_i \{ p_i \} \\ a \sum_{i=1}^n H_i \geq b \sum_{i=1}^n p_i H_i \end{cases} \quad (3)$$

Рассмотрим следующий пример. Пусть $n = 1$, $p_1 = 0.1$, $H_1 = 6$, $C_1 = 3$. Множество допустимых комбинаций α и β , определяемое в соответствии с (3) - $\{(\alpha, \beta): \alpha = 0.1/3, \beta \in [5/9, 1]\}$. Отношение страхового взноса к страховому возмещению $\gamma = I_1/R_1 = \alpha/\beta = 0.1$. Отметим, что $\gamma \equiv p_1$. Рассмотрим другую ситуацию. Пусть имеются сто исполнителей ($n = 100$), имеющих те же параметры, что и первый исполнитель, за исключением того, что $p_i = 0.1 \quad \forall i = \overline{1, 50}$, $p_j = 0.05 \quad \forall j = \overline{51, 100}$. Тогда область допустимых нормативов будет иметь вид, представленный на рисунке 11. Показатель γ удастся снизить до $0,07 < p_1$.

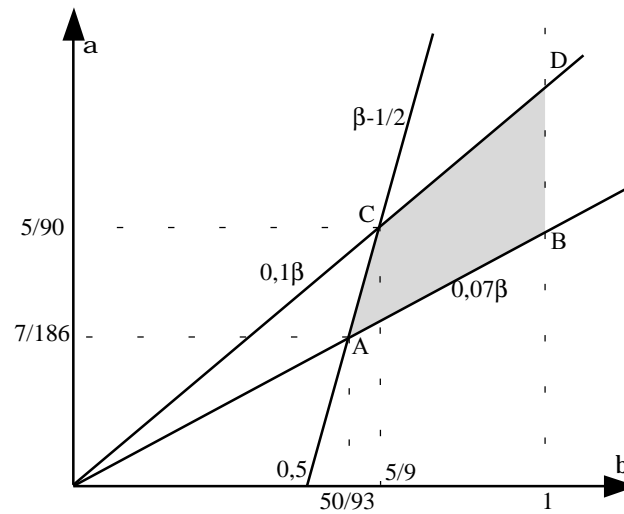


Рис. 11.

Из рассмотренного примера видно, что предложенный механизм обладает рядом привлекательных свойств. Во-первых, по сравнению с одноэлементной системой расширилась допустимая область. Во-вторых, снизился показатель γ . Из заштрихованной на рис. 11 области наиболее выгодны: для страховщика - отрезки AC и CD (максимальный взнос и минимальные выплаты), а для исполнителей - отрезок AB (минимальный взнос и максимальное возмещение). В-третьих, видно, что даже в одноэлементной модели с уменьшением вероятности p_i наступления страхового случая снижается страховая ставка α и снижается коэффициент γ .

В то же время следует отметить, что рассматриваемый механизм далеко не идеален и не универсален. При некоторых значениях параметров модели допустимая область может оказаться пуста, так как условия пунктов 2 и 4 могут противоречить друг другу. Если взять, например, двух исполнителей с одинаковыми доходами, но с существенно разными рисками, то и взносы и возмещение будут одинаковы. Наверное, это не совсем справедливо по отношению к исполнителю с меньшим уровнем риска. Значит, следует рассмотреть механизм, в котором страховой взнос зависит и от риска.

Рассмотренные выше модели объединяет одно свойство: в целевых функциях исполнителей и страховщика используются ожидаемые значения, и неявно предполагается, что все участники проекта при выборе стратегии своего поведения ориентируются именно на усредненные значения. Таким ли образом ведут себя люди? Естественно - нет! Поэтому давайте сделаем маленькое отступление и обсудим отношение людей к риску.

Представим себе, что человеку предлагают вложить деньги с высокой доходностью, но и с высоким риском. Предположим, что p - вероятность неполучения дохода (доход равен нулю), соответственно, $(1-p)$ - вероятность получения дохода x . Ожидаемый доход составит, очевидно, $E_x = (1-p)x$. Давайте попробуем ответить на вопрос - какую сумму x_0 человек готов заплатить за участие в такой лотерее? Даже качественный ответ на этот вопрос неоднозначен. Принято условно разделять людей на три группы:

- люди, нейтральные к риску (risk-neutral) - готовые участвовать в лотерее за ожидаемый выигрыш, то есть $x_0 = (1-p)x$;
- люди, не склонные к риску (risk-averse) - готовые внести за участие в лотерее сумму строго меньшую ожидаемого дохода, то есть $x_0 < (1-p)x$;
- люди, склонные к риску - готовые участвовать в лотерее даже при условии, что ожидаемый выигрыш меньше их взноса, то есть $x_0 > (1-p)x$.

Примерные графики зависимости $x_0(x)$ для нейтральных, склонных и несклонных к риску людей приведены на рисунке 12 (соответственно кривые (1- p) x , 1, 2).

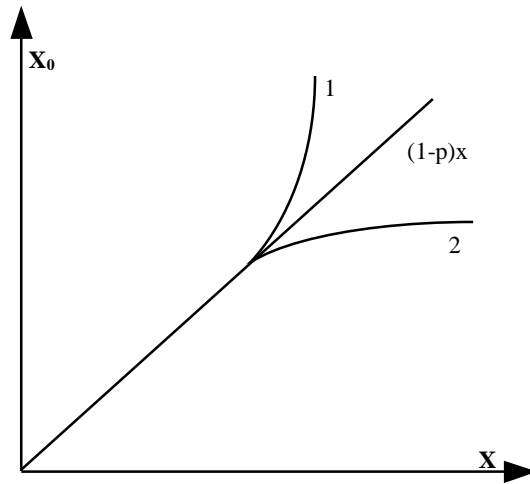


Рис. 12.

Числовой характеристикой предпочтений людей выступает полезность. Если обозначить x , например, деньги, $u(\cdot)$ - функция полезности, то люди, нейтральные к риску, имеют линейные функции полезности (полезность определяется с точностью до линейного преобразования), склонные к риску - выпуклые, а не склонные - вогнутые функции полезности (см. соответственно рисунки 13, 14 и 15).

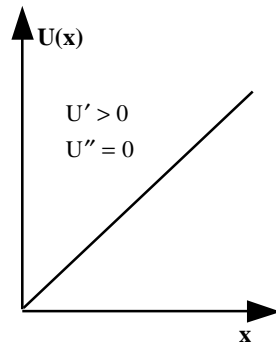


Рис. 13.

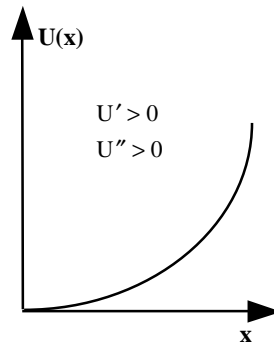


Рис. 14.

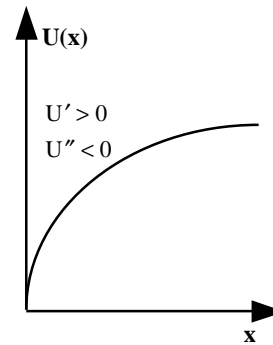


Рис. 15.

Приведенные графики функций полезности людей, имеющих различное отношение к риску, позволяют привести следующий наглядный пример. Представим себе, что человек обладает некоторой суммой денег x_0 , и ему предлагают принять участие в лотерее, в которой он с равными вероятностями выигрывает сумму Δx и проигрывает такую же сумму. Если функция полезности линейна ($U(x) = x$), то прирост полезности от выигрыша $\Delta U_1 = \Delta x$ равен уменьшению полезности от проигрыша $\Delta U_2 = \Delta x$ (см. рисунок 16а) - человек нейтрален к риску.

Если же функция полезности вогнута (см. рисунок 16б), то прирост полезности от выигрыша ΔU_1 строго меньше уменьшения полезности при проигрыше ΔU_2 - человек с такой функцией полезности предпочтет не рисковать (не станет принимать участие в такой лотерее). Аналогично, для человека, склонного к риску (имеющего выпуклую функцию полезности) прирост полезности от выигрыша превысит уменьшение полезности при проигрыше.

Известны (и подтверждены многочисленными исследованиями) три достаточно очевидных факта:

- все коммерческие лотереи, рискованные финансовые операции и т.д. рассчитаны на людей, склонных к риску;
- страхователи, как правило, не склонны к риску и получают от «передачи» страховщику своего риска гораздо большую полезность, чем просто компенсацию ожидаемых потерь, упущенного дохода и т.д.;
- страховщики, в большинстве случаев, нейтральны к риску.

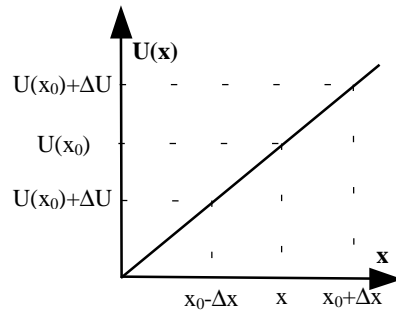


Рис. 16а.

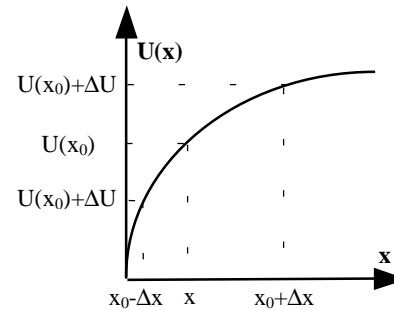


Рис. 16б.

Снижение рисков у страховщиков достигается за счет агрегирования большого числа мелких рисков и их диверсификации.

Последние два утверждения подсказывают, каким образом можно устранить противоречия в рассмотренных выше моделях страхования. Вернемся к синтезу модели.

Возьмем одного страхователя - исполнителя (И) и страховщика - центр. Пусть страхователь не склонен к риску и имеет строго монотонно возрастающую

непрерывно дифференцируемую вогнутую функцию полезности $u(\cdot)$, а страховщик нейтрален к риску и имеет линейную функцию полезности.

Предположим, что возможны два значения дохода $x \in R^1$ И: $0 < x_1 < x_2$, реализующиеся, соответственно, с вероятностями $(1-p)$ и p ($p \in [0,1]$), т.е. вероятность наступления страхового случая (который заключается в получении И меньшего дохода) равна $(1-p)$. Ожидаемая полезность центра имеет вид:

$$\Phi = r - h(1-p), \quad (4)$$

где $r \geq 0$ - страховой взнос, $h \geq 0$ - страховое возмещение. В случае заключения страхового контракта И либо получает доход: $x_1 = x_1 - r + h$ - при наступлении страхового случая, либо доход: $x_2 = x_2 - r$ - если страхового случая не происходит.

Ожидаемая полезность И равна:

$$U = u(x_1) \cdot (1-p) + u(x_2) \cdot p - \text{без заключения страхового контракта;}$$

$$U = u(x_1) \cdot (1-p) + u(x_2) \cdot p - \text{при заключении страхового контракта.}$$

Будем считать, что центр заключает страховой контракт только в том случае, если этот контракт обеспечивает ему некоторую неотрицательную ожидаемую полезность H , то есть $\Phi = H \geq 0$.

Под некоммерческим страхованием будем понимать страхование, при котором ожидаемая полезность страховщика в точности равна нулю, то есть $H = 0$. Под коммерческим страхованием будем понимать страхование, обеспечивающее страховщику строго положительное значение ожидаемой полезности.

Итак, страховой контракт в рассматриваемой модели описывается кортежем

$$\{h, r, H \mid x, x, p, u(\cdot)\},$$

причем параметры $x, x, p, u(\cdot)$ являются параметрами собственно страхователя, а h, r и H (или, что то же самое x_1 и x_2) - параметры механизма страхования, выбираемые страховщиком.

Под допустимым механизмом страхования мы будем понимать такой набор неотрицательных чисел $\{h, r, H\}$, что выполняется $\Phi \geq H$ и страхование выгодно для И, то есть допустимым является страховой контракт, выгодный и для центра, и для исполнителя. Последнее условие означает, что в случае заключения страхового контракта, предлагаемого центром, ожидаемая полезность И будет не меньше, чем без участия в контракте.

Найдем ограничения на параметры страхового контракта, то есть область возможных значений (h, H) , при которых страхование выгодно для И. Подставляя условие $\Phi = H$ в целевую функцию центра, выразим величину страхового взноса через страховое возмещение и ожидаемый доход страховщика. Получим

$$x_1 = x_1 + ph - H, \quad (5)$$

$$x_2 = x_2 - (1-p)h - H. \quad (6)$$

Вычислим ожидаемые значения дохода И (E - оператор математического ожидания):

обусловлена неприятием риска страхователем. Для нейтрального к риску И премия за риск тождественно равна нулю. Если же И склонен к риску, то есть имеет выпуклую функцию полезности, то, повторяя приведенные выше рассуждения, можно прийти к выводу, что премия за риск будет не положительна, то есть такой И готов заплатить за возможность участия в лотерее (в общем случае дифференциальной мерой склонности к риску может считаться, например, логарифмическая производная функции полезности элемента). Поэтому $\mathfrak{K}(p)$ - действие, эквивалентное (с точки зрения ожидаемой полезности) для И участию в лотерее (см. рис.17). Условие выгодности для И заключения страхового контракта имеет вид:

$$U(E\bar{x}) \geq U(Ex). \quad (7)$$

Условие (7), совместно с $\Phi \geq H$, является необходимым и достаточным условием допустимости страхового контракта. Однако, его использование при решении задачи синтеза оптимального страхового контракта достаточно затруднительно - ограничения, накладываемые на параметры механизма, могут оказаться чрезвычайно громоздкими. Поэтому приведем простые, конструктивные и содержательно интерпретируемые достаточные условия.

Из свойств вогнутых функций следует, что достаточным для выполнения (7) в случае коммерческого страхования является следующая система неравенств:

$$x_1 \leq \mathfrak{K}(p) \leq \bar{x}_1 \leq Ex \leq \bar{x}_2; \quad (8)$$

а в случае некоммерческого страхования достаточно выполнения:

$$x_1 \leq \bar{x}_1 \leq Ex \leq \bar{x}_2 \leq x_2. \quad (9)$$

Рассмотрим для начала простейший случай - некоммерческое страхование. Для некоммерческого страхования (при $H = 0$) $E\bar{x} = Ex$. Остальные условия системы (9) также выполнены, причем для любого механизма (для исключения морального риска, когда наступление страхового случая становится выгодным для страхователя, и обеспечения $\bar{x}_1 \leq \bar{x}_2$, логично потребовать выполнения следующего условия: $h \leq \Delta x$).

Выгодность для исполнителя некоммерческого страхования можно обосновать и не прибегая к системе неравенств (8)-(9). Покажем, что имеет место (7). Действительно, независимо от величины страхового возмещения, в силу вогнутости $u(\cdot)$ справедлива следующая оценка:

$$\begin{aligned} & [u(x_1 + ph) - u(x_1)](1-p) + [u(x_2 + h(1-p)) - u(x_2)]p \geq \\ & \geq p(1-p)h[u'(x_1 + ph) - u'(x_2 - h(1-p))] \geq 0. \end{aligned}$$

Таким образом, мы пришли к следующему выводу - некоммерческое страхование всегда выгодно для нейтрального или склонного к риску исполнителя. Это утверждение вполне соответствует интуитивному пониманию страхования как перераспределения риска: при использовании взаимовыгодного механизма некоммерческого страхования И перекладывает на

центр часть риска, что выгодно им обоим, так как И не склонен к риску, а центр нейтрален к риску.

Определим наиболее выгодное для И значение величины страхового возмещения. Из анализа зависимости $U(h)$ следует, что, несмотря на то, что $g = h(1-p)$ и страховой взнос растет с ростом страхового возмещения, оптимальное значение h совпадает с максимально возможным - Δx . При этом $x_1 = x_2 = Ex = Ex$ и И, фактически, исключает неопределенность и получает ожидаемую полезность, равную $u(Ex)$. Очевидно, что $u(Ex) \geq E u(x)$, то есть страхование действительно выгодно для И, а страховщик безразличен между участием и неучастием в контракте.

Интересно отметить следующие свойства рассмотренного механизма некоммерческого страхования:

- 1) страховой взнос растет с ростом страхового возмещения;
- 2) параметры механизма (ограничения и оптимальные значения) не зависят от функции полезности И;
- 3) параметры механизма (ограничения и оптимальные значения) зависят только от Δx и не зависят от величин дохода по отдельности;
- 4) страховое возмещение не превосходит возможных потерь Δx от наступления страхового случая;
- 5) при предельном переходе к детерминированной модели имеем: если $\Delta x = 0$, то $h = g = 0$, если $p = 0$, то $h = g = \Delta x$, если $p = 1$, то $h = \Delta x$, $g = 0$ (но страховое возмещение выплачивается с нулевой вероятностью);
- 6) при фиксированном страховом возмещении величина страхового взноса растет с ростом вероятности наступления страхового случая;
- 7) если исполнитель нейтрален к риску, то страхование (перераспределение риска с нейтральным к риску центром) не имеет смысла: его ожидаемая полезность одинакова при любых значениях страхового возмещения.

Рассмотрим теперь механизм коммерческого страхования. Система неравенств (8) позволяет найти ограничения на величину страхового возмещения в зависимости от ожидаемого дохода страховщика для случая коммерческого страхования.

$x_1 \leq x_1$. Следовательно:

$$H \leq p h. \quad (10)$$

$x_1 \leq Ex$. Следовательно:

$$H \geq p[h - \Delta x]. \quad (11)$$

$Ex \leq x_2$. Следовательно:

$$H \leq (1-p) \cdot [\Delta x - h]. \quad (12)$$

Из (11) и (12) следует, что

$$h \leq \Delta x, \quad (13)$$

что исключает моральный риск, причем всегда $x_2 < x_1$. Более того, к ограничениям (10) - (13) добавляется: $x_1 \leq \mathfrak{E}(p) \leq x_1$ (см. (8)). В приведенном на рис. 17 частном случае последнее условие нарушено.

Если функция полезности И линейна, то $\mathfrak{E} = Ex$ и (8) может иметь место только при $\mathfrak{E}(p) = x_1 = Ex$, что в силу (13) приводит к $H \equiv 0$, то есть в случае нейтрального к риску страхователя коммерческое страхование невозможно (нельзя получить прибыль от перераспределения риска). Рассмотрим следующий пример:

Пример. Пусть $u(x) = \sqrt{x}$. Тогда

$$\mathfrak{E}(p) = \left((1-p)\sqrt{x_1} + p\sqrt{x_2} \right)^2.$$

Как отмечалось выше, неравенство $x_1 \leq \mathfrak{E}(p)$ выполнено всегда. Из условия $\mathfrak{E}(p) \leq x_1$ получим, что

$$H \leq p \left[h + 2x_1 - p(x_1 + x_2) - 2(1-p)\sqrt{x_1 x_2} \right]. \quad (14)$$

Условие (14) является более сильным, чем (10). Из (12) и (14) найдем h^* , при котором достигается максимум ожидаемой полезности центра:

$$h^* = \Delta x - p(1-p) \left(\sqrt{x_2} - \sqrt{x_1} \right)^2. \quad (15)$$

Отметим, что h^* удовлетворяет (14) и неотрицательно при любых значениях p и $x_1 \leq x_2$. Максимально возможное значение ожидаемой полезности центра равно

$$H^* = p(1-p)^2 \left(\sqrt{x_2} - \sqrt{x_1} \right)^2. \quad (16)$$

При этом параметры механизма стимулирования следующие:

$$x_1 = Ex - p(1-p) \left(\sqrt{x_2} - \sqrt{x_1} \right)^2 = \mathfrak{E}(p); \quad (17)$$

$$x_2 = Ex; \quad (18)$$

$$r^* = (1-p)\Delta x. \quad (19)$$

Проанализируем качественно полученные результаты. Максимум ожидаемой полезности страховщика достигается при максимальной неопределенности, то есть при $p = 1/2$, и равен нулю при полной определенности, то есть при $p = 0$, $p = 1$ или при $x_1 \equiv x_2$. Страховой взнос растет с ростом вероятности наступления страхового случая. Страховое возмещение растет с уменьшением неопределенности - удалением p от $1/2$. При $p = 0$ И вынужден делать взнос, в точности совпадающий с будущими потерями Δx . Страховое возмещение в этом случае также равно Δx . При $p = 1$ (страхового случая точно не происходит) страховой взнос равен нулю, а страховое возмещение по-прежнему равно Δx (следует иметь в виду, что оно выплачивается с нулевой вероятностью). При $\Delta x = 0$ $h^* = H^* = r^* = 0$.

Отметим, что, во-первых, последовательность исследования механизма страхования в рассмотренном примере является достаточно общей и применима

для анализа любых (с произвольными вогнутыми функциями полезности И) механизмов коммерческого страхования в рамках предложенной модели. Во-вторых, достаточно важным представляется проведение качественного анализа свойств синтезируемого механизма. И, наконец, в-третьих, условия (17) и (18), полученные для рассмотренного выше примера, совместно с неравенствами (8), наталкивают на мысль, что, быть может, назначение граничных значений параметров механизма оптимально для центра (в смысле максимальной эффективности, понимаемой как значение ожидаемой полезности центра). Приведем обоснование справедливости этой гипотезы.

Из определений x_1 и x_2 получаем:

$$\Phi = p(x_2 - x_2) - (1 - p)(x_1 - x_1).$$

Видно, что эффективность механизма монотонна по x_1 и x_2 , причем, чем меньше значения этих параметров, тем выше эффективность. А минимально возможные их значения определяются именно (8). Таким образом, достаточно выбрать параметры механизма, удовлетворяющие следующим соотношениям:

$$x_1 = \xi(p), \quad x_2 = Ex. \quad (20)$$

Вспомним, что условия (8) являются достаточными. Механизм, удовлетворяющий (20), является допустимым, но не гарантирует достижения максимально возможной ожидаемой полезности страховщика на множестве всех допустимых (выгодных для страхователя) механизмов. Содержательно, (20) соответствует тому, что страхователю предлагается вместо исходной лотереи принять участие в новой лотерее, в которой полезность И от минимально возможного дохода не меньше, чем полезность от ожидаемого дохода в исходной лотерее. Понятно, что И это выгодно. Центр, в соответствии с (16) получит неотрицательную ожидаемую полезность (строго большую нуля, если $p \neq 0$, $p \neq 1$, $\Delta x \neq 0$). Но эта оценка в общем случае улучшаема. То есть использование условий типа (20) упрощает анализ и позволяет найти параметры механизма без трудоемких вычислений, но за простоту приходится платить возможной потерей эффективности (в рассмотренном примере можно обеспечить значение ожидаемой полезности центра большее, чем (16)).

Из проведенного анализа механизма страхования видно, что выгодность перераспределения риска обусловлена различным к нему отношением страхователя и страховщика. Несклонность к риску исполнителя достаточно понятна. Поэтому рассмотрим, почему страховщик может быть нейтрален к риску и каковы качественные отличия механизмов страхования в многоэлементных активных системах от описанной выше одноэлементной модели.

Пусть активная система состоит из n И (индекс $i = \overline{1, n}$ соответствует номеру И). Суммарный страховой взнос элементов равен $\sum_{i=1}^n r_i$, ожидаемое

страховое возмещение - $\sum_{i=1}^n (1-p_i)h_i$. Задача синтеза оптимального страхового

контракта заключается в поиске допустимого набора $\{r_i, h_i\}$, максимизирующего ожидаемую полезность центра:

$$\Phi = \sum_{i=1}^n \left[p_i(x_{2_i} - x_{2_i}) - (1-p_i)(x_{1_i} - x_{1_i}) \right],$$

где $h_i = \Delta x_i - \Delta x_i$, $r_i = x_{2_i} - x_{2_i}$.

Известно, что страхование выгодно при большом числе страхователей. Это объясняется, во-первых, тем, что с ростом числа страхователей вероятность разорения страховщика уменьшается (при этом правда, помимо ожидаемой полезности, необходимо анализировать и вторые моменты, то есть целевые функции и ограничения механизма могут отличаться от рассмотренных выше). Во-вторых, даже если центр не склонен к риску, страхование может оказаться выгодным для него. Поясним последнее утверждение.

Пусть имеются n одинаковых исполнителей, а центр имеет ту же функцию полезности (предположим, что функции полезности строго вогнуты), что и элементы. Если $n=1$, то страхование никому не выгодно - перераспределять риск между агентами, одинаково к нему относящимися, бессмысленно. Из предшествующего изложения следует, что страхование выгодно, когда премии за риск страхователя и страховщика различаются. С ростом n при строго вогнутой функции полезности центра его премия за риск уменьшается, в то время, как у каждого из И остается постоянной (система событий - возможных исходов при этом будет, естественно, более сложной, чем в одноэлементном случае). Иными словами, перераспределение риска между двумя агентами взаимовыгодно, если один из них имеет «менее вогнутую» функцию полезности, чем другой.

Перейдем теперь к рассмотрению свойств механизмов страхования, обусловленных активностью их участников. Один аспект активности мы уже учли: страховщик и страхователь не станут заключать страховой контракт, если он не выгоден хотя бы одному из них.

Предположим, что в рассматриваемой АС имеет место неопределенность, например, асимметричная информированность относительно вероятности наступления страхового случая. Предположим, что И сообщает центру оценку вероятности наступления страхового случая. Из анализа зависимости функции предпочтения И следует, что оптимально следующее сообщение: «страхового случая точно не произойдет». При этом страховой взнос равен нулю, а страховое возмещение - Δx . Если страховой случай все-таки происходит, то исполнитель, не заплатив ничего, получает полную компенсацию.

Итак, механизм с сообщением информации является манипулируемым. В многоэлементной АС, так как оптимальное решение декомпозируемо по И и каждый И имеет доминантную стратегию, то в силу принципа открытого управления для любого механизма страхования существует неманипулируемый

механизм не меньшей эффективности (эффективность эта, к сожалению, может оказаться чрезвычайно низкой).

Что же остается делать страховщику? Возможны следующие варианты.

Если центру известна верхняя оценка вероятности успешной реализации проекта, то оптимальный контракт может рассчитываться на основании этой оценки, что будет соответствовать использованию страховщиком принципа максимального гарантированного результата.

Возможно использование так называемых компенсационных процедур. Предшествующий анализ свидетельствует, что И выгодно завышать оценку вероятности успешного завершения проекта. «Встраивая» в механизм процедуру, снижающую доход И от завышения оценки (то есть, компенсируя эффект от завышения), центр может добиться сообщения И, если не достоверной, то, по крайней мере, более точной информации.

В случае, когда число страхователей велико и все они работают в одинаковых условиях, можно устроить многоканальный конкурс страхователей (см. раздел 1.3 и [6]), результаты которого будут определяться сообщенными исполнителями оценками вероятностей наступления страхового случая - сообщивший более точную (максимальную, минимальную и т.д.) оценку получает льготные условия страхования.

Если условия деятельности различных исполнителей отличаются, но все они имеют информацию друг о друге, то за счет сообщения этой информации при использовании механизмов теории реализуемости [6] существующая неопределенность может быть уменьшена, а эффективность страхования - повышена.

3.3. Механизмы самокупаемости

Одной из основных задач, стоящих перед руководством проекта, является минимизация затрат на его реализацию. Что понимать под затратами? Сложные проекты, как правило, включают в себя множество подпроектов, которые мы в настоящем разделе будем называть операциями. На последовательность выполнения операций, в общем случае, могут быть наложены так называемые технологические ограничения. Например i -я операция не может быть выполнена до тех пор, пока не выполнена j -я операция (или комплекс операций). Задачи определения оптимальной (с той или иной точки зрения) последовательности операций решаются в теории сетевого планирования и управления [1, 8, 10]. Вернемся, однако, к определению затрат. Если есть n операций и заданы их

стоимости $\{c_i\}_{i=1}^n$, то общие затраты на весь проект: $C = \sum_{i=1}^n c_i$. Отметим, что

величина C не зависит от порядка выполнения операций. Казалось бы, чем тут можно управлять?

Если ПМ имеет в своем распоряжении на момент начала проекта сумму R_0 и $R_0 \geq C$, то проблем действительно не возникает - имеющихся средств хватит на

выполнение всех операций в любой допустимой последовательности. Однако, как правило, $R_0 < C$. Что делать в этом случае?

Пусть i -я операция описывается кортежем (C_i, D_i, τ_i) , где $D_i \geq 0$ - доход от i -ой операции, τ_i - ее продолжительность. Будем различать прибыльные ($D_i \geq C_i$) и убыточные ($D_i < C_i$) операции. Тогда, в случае нехватки исходных средств, некоторые операции могут выполняться за счет доходов от уже выполненных операций. Механизмы управления финансами, использующие этот эффект, называются механизмами самокупаемости или механизмами самофинансирования. Идеалом, в некотором смысле, является полностью автономный проект, в котором самофинансирование позволяет выполнить его целиком, без привлечения внешних источников.

Для простоты предположим, что не существует технологических ограничений на последовательность выполнения операций - каждая операция может начинаться в момент окончания другой операции, причем произвольное число операций может вестись параллельно.

Обозначим $t_i \geq 0$ - время начала i -ой операции, R - величину заемных средств. Предположим, что ПМ может получить беспроцентные кредиты в любом объеме и в произвольный момент времени (дисконтирование отсутствует).

Финансовый баланс в момент времени t имеет вид:

$$f(t) = R_0 + R - \sum_{i=1}^n C_i I(t \geq t_i) + \sum_{i=1}^n D_i I(t \geq T_i + t_i) \quad , \quad (1)$$

где $I(t \geq t_i) = \begin{cases} 1, & t \geq t_i \\ 0, & t < t_i \end{cases}$ - функция-индикатор.

Понятно, что для возможности выполнения операций финансовый баланс должен быть неотрицательным в любой момент времени, то есть для допустимого баланса должно выполняться $f(t) \geq 0 \quad \forall t \in [0, \tau]$, где τ - время выполнения проекта.

В рамках описанной модели возникает целый ряд оптимизационных задач.

Например, можно решать задачу выбора последовательности выполнения операций (то есть времен начала их выполнения), минимизирующей суммарную величину привлеченных средств:

$$\begin{cases} R \rightarrow \min \\ \{t_i\} \\ f(t) \geq 0, \forall t \geq 0. \end{cases} \quad (2)$$

Может быть поставлена задача минимизации времени выполнения проекта $T = \max_{i=1, \bar{n}} \{t_i + \tau_i\}$ только за счет собственных средств, или с фиксированным

значением привлеченных средств:

$$\begin{cases} T \rightarrow \min \\ \{t_i\} \\ R = const, f(t) \geq 0, \forall t \geq 0. \end{cases} \quad (3)$$

Таким образом, возможны самые разные постановки. Во всех оптимизационных задачах требуется найти оптимальную последовательность

выполнения операций, то есть оптимальный механизм самофинансирования. При введении дисконтирования, по аналогии с (3), можно максимизировать конечную (дисконтированную) прибыль и т.д. При наличии технологических ограничений, они должны быть добавлены в ограничения задач (2) - (3).

Следует отметить, что на сегодняшний день не существует универсальных и эффективных методов решения задач из рассматриваемого класса. Понятно, что так как число допустимых вариантов (последовательностей) конечно, то все они могут быть найдены простым перебором. Однако, даже при не очень большом числе операций (порядка нескольких десятков) простой перебор оказывается чрезвычайно трудоемким. Поэтому при решении задач сетевого планирования используют методы целенаправленного перебора, ветвей и границ и др. Рассмотрим в качестве примера использование для решения задачи (3) следующего эвристического алгоритма.

1. Определяем все комбинации операций, которые могут быть начаты (являются допустимыми с точки зрения бюджетного ограничения) в нулевой момент времени.

2. Для каждого из допустимых вариантов определяем в момент окончания одной из операций, какие из еще невыполненных операций могут быть начаты. Если ни одна из операций не может быть начата, то для данного варианта ждем момента окончания следующей операции и т.д. до тех пор, пока все операции не закончатся и/или ни одна не сможет быть начата.

Применение шагов 1 и 2 дает все допустимые с точки зрения балансового ограничения варианты (получаем дерево вариантов). Среди висячих вершин могут оказаться и те, которым соответствует выполнение не всех операций. Сравнивая продолжительности тех вариантов - висячих вершин, которые соответствуют выполнению всех операций проекта, определяем решение задачи (3) - варианты минимальной продолжительности.

В общем случае описанный выше алгоритм является более эффективным, чем простой перебор - в процессе перебора вариантов мы сразу отсеивали неудовлетворительные, и не рассматривали деревья, для которых они являются корневыми вариантами. Можно предложить и другие эвристические алгоритмы численного решения задачи (3), быстродействие которых зависит от соотношения исходных параметров.

Аналитические методы получения оптимального решения существуют лишь для очень узких классов задач сетевого планирования [1, 8]. Таким приятным исключением является задача (2), алгоритм решения которой описывается ниже.

Приведем некоторые сведения из теории графов, которые потребуются для дальнейшего изложения [1].

Подграф - часть графа v , образованная подмножеством вершин вместе со всеми ребрами, соединяющими вершины этого подмножества.

Полный граф - граф, степени всех вершин которого равны $(n-1)$ (между любыми двумя вершинами которого существует дуга).

Цикл - конечная цепь, начинающаяся и оканчивающаяся в одной и той же вершине.

Дуги из вершины i в вершину j обозначаются (i, j) . Если из $(i, j) \in V$ (V - множество дуг) следует $(j, i) \in V$, то граф называется симметричным.

Путь - последовательность дуг, в которой конец каждой предыдущей дуги совпадает с началом следующей. Путь является простым, если все его дуги различны.

Контур - конечный путь, у которого начальная вершина совпадает с конечной. Элементарный контур - контур, проходящий через каждую из вершин не более одного раза. Гамильтонов контур - элементарный контур, проходящий через все вершины графа.

Полный, $(n+1)$ -вершинный, симметричный граф называется псевдопотенциальным, если длина его любого гамильтонова контура равна одному и тому же числу.

Обозначим l_{ij} , $i, j = 0, 1, 2, \dots, n$ - длины дуг. Справедливы следующие утверждения [1]:

Любой подграф псевдопотенциального графа является псевдопотенциальным.

Для того, чтобы граф был псевдопотенциальным, необходимо и достаточно существование чисел $\alpha_i, \beta_i, i = \overline{1, n}$, таких, что $l_{ij} = \beta_j - \alpha_i$ для всех $i, j = \overline{1, n}$.

Рассмотрим $(n+1)$ -вершинный граф, соответствующий решаемой задаче (см. рис. 18а и 18б).

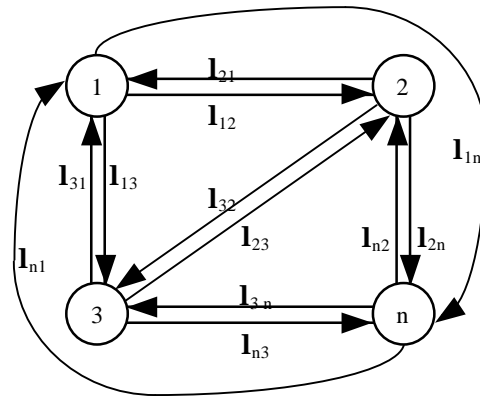


Рис. 18а.

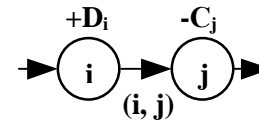


Рис. 18б.

Вершины $1, 2, \dots, n$ соответствуют операциям, вершина 0 - нулевая операция. Предположим, что с нулевой вершины начинается реализация проекта, ее затраты и доход равны 0 ($\alpha_0 = 0$). Пусть $\mu = (0, i_1, i_2, \dots, i_n, 0)$ - произвольный гамильтонов

контур. Обозначим $M_j(\mu) = \sum_{k=1}^j (b_{i_k} - a_{i_{k-1}})$ - сумма длин первых j дуг контура μ .

Заход некоторой дуги в вершину i ($i = \overline{1, n}$) требует затрат C_i , исход дуги из вершины i соответствует получению дохода D_i . Так как в рассматриваемой модели все операции могут выполняться одновременно (не существует технологических ограничений на последовательность их выполнения), то, очевидно, минимуму привлеченных средств будет соответствовать последовательное выполнение операций (время реализации всего проекта при этом

равно $T = \sum_{i=1}^n t_i$), а граф, построенный для нашей задачи, будет полным и

симметричным. Таким образом, задача свелась к определению оптимальной последовательности выполнения операций, то есть такой последовательности, при которой величина привлеченных средств будет минимальной. Последовательному выполнению всех операций (ни одна из операций не выполняется дважды) соответствует некоторый гамильтонов контур. Если под длиной дуги I_{ij} понимать разность между затратами на выполнение j -ой операции и доходом от i -ой операции, то есть $I_{ij} = C_j - D_i$, то легко видеть, что полученный граф является псевдопотенциальным. Действительно, любой гамильтонов контур соответствует выполнению всех операций. Независимо от последовательности суммирования длин дуг, получим инвариантную (не зависящую от последовательности, то есть

контура) величину $\left(C - \sum_{i=1}^n D_i \right)$. Представление длин дуг в виде $I_{ij} = \beta_j - \alpha_i$

соответствует $\beta_j = C_j$, $\alpha_i = D_i$ (см. рис. 18). Тогда величина

$$M_j(\mu) = \sum_{k=1}^j (b_{i_k} - a_{i_{k-1}}) = \sum_{k=1}^j C_{i_k} - \sum_{k=1}^j D_{i_{k-1}} = C_{i_j} - \sum_{k=1}^{j-1} D_{i_k} + \sum_{k=1}^{j-1} C_{i_k}$$

есть чистый доход от выполнения первых j операций контура μ . Последние два слагаемых (с обратными знаками) есть ни что иное, как средства, имеющиеся у ПМ после выполнения первых (в контуре μ) $j-1$ операций. Следовательно, $M_j(\mu)$ может интерпретироваться как нехватка собственных средств на выполнение j -ой (в контуре μ) операции. Если $M_j(\mu) > 0$, то именно такую величину придется занимать у третьей стороны. Если $M_j(\mu) \leq 0$, то собственных средств хватает на выполнение j -ой операции.

Предположим теперь, что задача ПМ заключается в определении последовательности выполнения операций, при которой максимальная величина однократного заема внешних средств минимальна. Формально эту задачу можно представить в следующем виде: определить гамильтонов контур μ , имеющий минимальное значение

$$M(m) = \max_{j=1, n} M_j(m).$$

Обозначим $g_i = D_i - C_i$ и подметим, что если μ^* - некоторый оптимальный гамильтонов контур (характеризующийся $M(\mu^*) = M_{\min}$), то

$$\begin{cases} M_{\min} \geq b_{i1} \\ M_{\min} + g_{i1} \geq b_{i2} \\ M_{\min} + g_{i1} + g_{i2} \geq b_{i3} \\ \dots\dots\dots \\ M_{\min} + g_{i1} + \dots + g_{in-1} \geq b_{in}. \end{cases}$$

Проинтерпретируем эту систему неравенств. Первое неравенство утверждает, что минимальная величина привлеченных средств не может быть меньше, чем затраты на операцию, выполняемую первой. Действительно, мы предположили, что величина собственных средств равна нулю (если она не равна нулю, то на нее уменьшится M_{\min}). Следовательно, на первую операцию придется затратить C_{i1} , так как никакие операции еще не выполнялись (нет доходов от их выполнения). Второе неравенство требует, чтобы затраты C_{i2} на выполнение второй операции были меньше, чем заемные средства M_{\min} плюс доход от выполнения первой операции g_i (и т.д. для всех операций).

Так как мы предположили, что в общем случае могут существовать убыточные операции с $g_i < 0$, то в соответствии с результатом, доказанным в [1], оптимальное решение имеет следующую структуру:

- упорядочим операции, для которых $g_i \geq 0$ в порядке возрастания величины C_i и включим их в последовательность (гамильтонов контур);
- добавим к полученной последовательности операции с $\gamma_i \leq 0$ в порядке убывания D_i .

Таким образом, оптимальной является следующая последовательность: выполнять сначала прибыльные операции в порядке возрастания затрат (сначала более дешевые и т.д.), затем выполнять убыточные операции в порядке убывания дохода (сначала - приносящие наибольший доход, и т.д.).

Легко показать [1], что минимальная величина заемных средств определяется следующим выражением

$$M_{\min} = \max \left[C_{i_1}, \max_{1 \leq k < n} \left(C_{i_{k+1}} - \sum_{j=1}^k g_j \right) \right].$$

Содержательная интерпретация этого выражения следующая: как минимум, придется занимать либо величину затрат первой операции (если при этом дохода от нее и последующих операций будет хватать на реализацию невыполненных или если заем не будет превосходить C_{i1}), либо максимум по остальным операциям из нехватки собственных средств на их выполнение.

Найденное решение минимизирует максимальную величину однократного займа. Суммарная же величина заемных средств при использовании полученного решения равна (при $R_0 = 0$):

$$R = C_{i_1} + \sum_{k=1}^{n-1} \max \left(C_{i_{k+1}} - \sum_{j=1}^k g_j, 0 \right). \quad (4)$$

Итак, мы нашли последовательность выполнения операций, минимизирующую максимальную величину внешнего займа. Однако, можно заметить, что эта же последовательность минимизирует и величину привлеченных средств. Действительно, для начала работ (при $R_0 = 0$) требуется занять как минимум C_{i_1} . Начиная выполнение более «дорогой» операции C_{i_2} мы получим доход $\gamma_{i_1} C_{i_1} \geq C_{i_1}$ (так как сначала выполняются доходные операции) и т.д.

Выше мы решили задачу сетевого планирования при условии, что ПМ имеет полную информацию об операциях, т.е. знает достоверно $(C_i, D_i, t_i)_{i=1}^n$. Предположим теперь, что он не знает истинных затрат, необходимых на выполнение той или иной операции. Обозначим s_i - оценку затрат, сообщаемую i -ым исполнителем о своей операции, $i = \overline{1, n}$. ПМ известны величины $\{D_i\}$. Исполнители, имеющие $D_i \geq S_i$, т.е. приоритетные, упорядочиваются в порядке возрастания затрат:

$$S_1 \leq S_2 \leq \dots \leq S_k,$$

а исполнители, выполняющие убыточные операции, упорядочиваются в порядке убывания D_i .

$$D_{k+1} \geq D_{k+2} \geq \dots \geq D_n,$$

причем все исполнители получают финансирование в заявленном объеме.

Рассмотрим теперь интересы исполнителей. Предположим, что каждый исполнитель заинтересован получить финансирование как можно раньше, при условии неубывания собственного дохода. При одном и том же упорядочении каждый исполнитель стремится максимизировать свой доход. Исполнители, для которых $D_i < C_i$, очевидно, будут стремиться увеличивать S_i , так как, уменьшая S_i (сообщая, например, $S_i < D_i$ и попадая в число приоритетных исполнителей) i -ый исполнитель уменьшает свой доход $(S_i + D_i - C_i)$ по сравнению с сообщением достоверной информации (в этом случае доход равен D_i). Таким образом, упорядочение убыточных исполнителей сохранится и они будут сообщать максимально возможную заявку S^{\max} . Приоритетные (прибыльные) исполнители будут сообщать следующие заявки:

$$S_i^* = \min(D_i, S_{i+1}^*), \quad i = \overline{1, k-1}, \quad S_k^* = D_k \quad (5)$$

Таким образом, в механизме с сообщением информации исполнители сообщают такие заявки, что определяемый на их основании оптимальный гамильтонов контур совпадает с контуром, соответствующим истинным значениям затрат (так как упорядочение исполнителей в обоих случаях оказывается одним и тем же). Несмотря на то, что последовательность выполнения операций сохраняется, в

механизме с сообщением информации суммарная величина привлеченных средств оказывается больше (достаточно подставить в (4) вместо C_i выражение (5)).

Для рассмотренного механизма существует эквивалентный прямой механизм не меньшей эффективности: ПМ просит сообщить исполнителей $\{C_i\}$ и на их основе для убыточных исполнителей «восстанавливает» $S_i^* = S^{\max}$, а для приоритетных - в соответствии с (5).

Легко видеть, что в соответствующем прямом механизме сообщение достоверной информации будет равновесной стратегией всех исполнителей.

3.4. Противозатратные механизмы

В настоящем разделе рассматривается класс финансовых механизмов, используя которые ПМ может эффективно управлять исполнителями - монополистами, участвующими в проекте.

Противозатратными называются такие механизмы управления, которые побуждают каждого исполнителя максимально повышать эффективность своей деятельности, выполнять соответствующую работу (задания) с высоким качеством и минимальными затратами. Понятно, что в случае большого числа более или менее однородных исполнителей, конкуренция между ними не позволит каждому отдельно взятому исполнителю завышать себестоимость продукции и цену. В случае наличия монополистов необходимо использовать специальные механизмы управления, обеспечивающие невыгодность завышения затрат.

В основе использования противозатратных механизмов лежит следующая общая идея. Предположим, что целевая функция исполнителя зависит от переменных двух типов: переменные первого типа - параметры, выбираемые самим исполнителем (например, затраты живого и общественного труда, объемы выпуска и т.д.); переменные второго типа - параметры, устанавливаемые ПМ (например, норматив рентабельности, коэффициенты ценообразования и т.д.). Задача ПМ заключается в выборе таких значений параметров второго типа, чтобы целевая функция исполнителя вела себя требуемым образом (например, возрастала или убывала по соответствующим параметрам первого типа).

Рассмотрим в качестве примера задачу синтеза противозатратного механизма ценообразования. Себестоимость продукции, производимой исполнителем,

$$C = S + a \quad (1)$$

складывается из затрат живого труда - a (трудозатраты) и затрат общественного труда - S (материальные затраты, включающие затраты на материалы, амортизацию оборудования т.д.). Цена продукции определяется

$$Ц = (1 + \rho)C, \quad (2)$$

где ρ - норматив рентабельности. Прибыль исполнителя:

$$\Pi = Ц - C = \rho C. \quad (3)$$

Отметим, что условия (1) - (3) записаны для единицы продукции. В предположении постоянства дохода на масштаб производства эти выражения справедливы для любого объема выпуска.

Если бы ПМ имел в своем распоряжении некоторый «прибор», точно определяющий общественно необходимые затраты (ОНЗ) на производство единицы продукции, то задача ценообразования была бы решена. Однако, ОНЗ известны только исполнителю, и он, в силу активности, может сообщить себестоимость, превышающую ОНЗ, так как при постоянном нормативе рентабельности ρ исполнитель заинтересован в завышении себестоимости. Значит, в рассматриваемом примере исполнитель заинтересован в завышении себестоимости, то есть механизм не обладает свойством противозатратности. Для того, чтобы добиться противозатратности, можно, например, сделать норматив рентабельности зависящим от эффективности деятельности исполнителя. Что понимать под эффективностью исполнителя?

Будем считать, что продукт, производимый исполнителем (отметим, что этот продукт может быть как материальным продуктом, так и интеллектуальной продукцией или услугой), характеризуется себестоимостью производства C , устанавливаемой исполнителем, и эффектом I , определяемым потребителем или ПМ. Понятно, что эффективность должна расти с ростом эффекта и убывать с ростом себестоимости. Одной из простейших зависимостей, удовлетворяющих этим требованиям, является:

$$\vartheta = \frac{I}{C}. \quad (4)$$

Выберем $\rho = \rho(\vartheta)$ и определим, какова должна быть зависимость $\rho(\cdot)$, чтобы механизм обладал свойством противозатратности. Для этого необходимо, чтобы прибыль исполнителя убывала с ростом затрат, то есть выполнялось:

$$\frac{d\Pi}{dC} \leq 0. \quad (5)$$

В то же время, цена продукции должна расти с ростом себестоимости, то есть должно выполняться:

$$\frac{d\Pi}{dC} \geq 0. \quad (6)$$

Условия (5) - (6) называются условиями противозатратности. Раскрыв их, можно получить следующие ограничения:

$$0 < \vartheta \frac{dr(\vartheta)}{d\vartheta} - r(\vartheta) < 1. \quad (7)$$

Накладывая ограничение $\rho(1)=0$ (продукт, для которого эффект равен затратам, не должен приносить прибыли), получим общий вид зависимости, обеспечивающей противозатратность (по прибыли) механизма ценообразования [2]:

$$r(\vartheta) = \vartheta \int_1^{\vartheta} \frac{h(x)}{x^2} dx, \quad (8)$$

где $h(x)$ - произвольная функция, принимающая значения в интервале $(0, 1)$. Чем ближе $h(x)$ к нулю, тем сильнее влияет уменьшение затрат на снижение цены и тем слабее влияет уменьшение затрат на рост прибыли. Наоборот, чем ближе $h(x)$ к единице, тем слабее влияет уменьшение затрат на снижение цены, но тем сильнее

влияет уменьшение затрат на рост прибыли исполнителя. Поэтому в каждом конкретном случае ПМ должен подбирать соответствующую зависимость.

Мы рассмотрели один из противозатратных механизмов (противозатратный по прибыли механизм ценообразования). Перечислим некоторые другие возможные случаи.

Полученные выше выводы справедливы для плановых показателей (прибыли, фонда материального поощрения и т.д.). Если фактические доходы формируются по рассмотренным нормативам, то затратные тенденции сохраняются. Для исключения этих тенденций необходимо вводить отдельный норматив отчислений в фонд материального поощрения от сверхплановой прибыли.

Подбором нормативов можно также добиться устранения номенклатурного сдвига (при одной и той же себестоимости, но различных соотношениях трудовых и общественных затрат) [2].

Если фонд оплаты труда складывается из фонда заработной платы ($\alpha\Pi$, где α - некоторый коэффициент) и фонда материального поощрения ($\beta\Pi$, где β - некоторый коэффициент), то даже при постоянном коэффициенте ρ , противозатратность может быть достигнута путем установления переменного коэффициента $\beta = \beta(1/\rho)$ [2, 6].

В случае образования прибыли от трудозатрат, когда в отличие от (1) - (3), $\Pi = (1 + \rho(\varepsilon))a + S$, $\Pi = \rho(\varepsilon)a$ противозатратный механизм строится аналогичным образом.

Во многих не рассмотренных выше случаях при снижении затрат экономия трудовых и материальных ресурсов может быть использована для дальнейшего увеличения производства (например, объема выпуска продукции), то есть для получения дополнительной прибыли. Анализ условий противозатратности для этой ситуации проведен в [2].

Требование противозатратности по оплате труда, то есть требование возрастания фонда оплаты труда при уменьшении затрат, является достаточно сильным. На самом деле, для создания противозатратного эффекта важно, чтобы при уменьшении затрат увеличивался не фонд оплаты в целом, а оплата труда тех работников, которые обеспечили это снижение затрат. Оказывается, возможно создать сильно противозатратный механизм управления, при использовании которого эффективно трудящиеся работники нетерпимы к присутствию лентяев и бездельников [2].

Рассмотренные во второй главе механизмы конкурсного распределения ресурса обладают тем качеством, что конкурсность существенно усиливает противозатратные свойства механизма. Существует точка зрения, что конкурсные механизмы, например, формирования договорных цен, являются альтернативными противозатратным механизмам, описанным выше в настоящем разделе. Такая точка зрения ошибочна. На самом деле, конкурентные механизмы эффективно работают в случае «претендентов равной силы» и при наличии монополистов могут оказаться не очень эффективными. Поэтому конкурсные и противозатратные механизмы (ориентированные именно на монопольную ситуацию) являются не

исключающими, а, скорее, взаимодополняющими друг друга. Противозатратные механизмы играют антимонопольную роль, «включаясь» при наличии монополиста и «отключаясь» при эффективной работе конкурсных механизмов. Для иллюстрации этого утверждения рассмотрим следующий пример.

Пусть ПМ организует конкурс между m исполнителями на выполнение проекта эффективностью (с полезным эффектом) L . Обозначим C_i - себестоимость работ i -го исполнителя. Будем считать, что исполнители заинтересованы в максимизации прибыли и что задана противозатратная по прибыли процедура формирования цены:

$$C_i = (1 + \rho(\Theta_i))C_i, \quad \Theta_i = L/C_i, \quad i = \overline{1, m}. \quad (9)$$

Обозначим x_i - гарантированный норматив рентабельности i -го исполнителя (исполнитель может найти другие договора, обеспечивающие ему прибыль не меньше x_i на каждую единицу затрат). Очевидно, исполнителю выгодно браться за работу, если ее цена окажется не меньше, чем $A_i = (1 + x_i)C_i$. Будем считать, что $\rho_i(\Theta_i) > x_i, \forall i = \overline{1, m}$, то есть заключение договора с ПМ выгодно всем исполнителям. Если бы был один исполнитель-монополист (например, с номером i), то, очевидно, договор был бы заключен по цене β_i . В случае нескольких исполнителей они начинают соревноваться. Пусть исполнители упорядочены по возрастанию A_i , то есть:

$$A_1 \leq A_2 \leq \dots \leq A_m.$$

Легко показать, что победителем конкурса будет первая организация (имеющая минимальную цену $\{A_i\}$), причем цена определяется выражением

$$C^* = \min(C_1, A_2). \quad (10)$$

Действительно, если $C_1 \leq A_2$, то при цене C^* остальным исполнителям договор по этой цене невыгоден (первая организация является монополистом и «работает» противозатратная часть механизма). В более сложной ситуации, когда организуется конкурс на выполнение нескольких проектов, в равновесии договорные цены победителей конкурса определяются по аналогии с (10).

Глава 4 СТИМУЛИРОВАНИЕ ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

В первой главе (разделы 1.1.1 - 1.1.2) подчеркивалось, что основной особенностью организационных систем является способность составляющих их элементов к целенаправленному, активному поведению. Активность поведения людей и коллективов означает, что выбираемые и принимаемые действия и решения определяются интересами участников. Соответственно, как уже было отмечено в разделах 1.2.1. - 1.2.2, задача управления проектами может рассматриваться как задача взаимного влияния и согласования интересов ПМ и исполнителей.

В рамках такого общего подхода к управлению проектами мы остановимся подробно на рассмотрении задач стимулирования. Стимулирование, в общем случае, может рассматриваться как воздействие ПМ (за счет выбора управляющих воздействий - стимулирования, штрафов и т.д.) на интересы исполнителей, выраженные их целевыми функциями. Различают моральное, материальное и другие виды стимулирования, штрафы, премии и т.д. Понятно, что рассмотрение морального стимулирования и создание соответствующих формальных моделей, является достаточно сложной и практически нерешенной, к сожалению, на сегодняшний день задачей. Поэтому мы ограничимся рассмотрением материального стимулирования в управлении проектами.

4.1 Контрактные механизмы стимулирования

Контрактная форма взаимодействия между работодателем (владельцем фирмы, начальником, заказчиком и т.д.) является на сегодняшний день одной из наиболее распространенных, как в России, так и за рубежом. Недаром в начале 70-х годов в рамках теории управления социально-экономическими системами возник специальный раздел - теория контрактов. Различают трудовые, деловые, страховые и другие контракты. Взаимоотношения предпринимателя и наемного рабочего, покупателя и продавца, юриста или врача и его клиентов, банка или страховой компании со своими клиентами оформляются в виде контрактов.

Контракт, в общем случае, содержит согласованные между сторонами взаимные обязательства. Мы будем рассматривать, в основном (за более подробной информацией читателю следует обратиться к работе [6]), трудовые контракты. В них, как правило, участвуют две стороны - работник и работодатель, или исполнители и ПМ в терминах управления проектами. Трудовой контракт содержит следующие пункты:

1. Исполнитель обязуется выполнить некоторую работу.
2. ПМ обязуется выплатить по результатам работы некоторое вознаграждение (мы опускаем для простоты условия труда, сроки, требования к результатам и т.д.).

Более конкретно в трудовом контракте оговаривается зависимость выплат исполнителю (его зарплата) от результатов его деятельности. Эта зависимость называется функцией стимулирования (механизмом стимулирования, системой

стимулирования). Понятно, что изменяя выплаты, ПМ может побудить исполнителя предпринять те или иные действия и добиться соответствующих результатов, то есть повлиять на интересы исполнителя. Однако, так как фонд заработной платы ограничен, ограничены и возможности управления. Как ПМ может согласовать свои интересы с интересами исполнителя, какую систему стимулирования ему следует использовать? Ответ на эти вопросы дают рассматриваемые задачи стимулирования. Поэтому перейдем к исследованию формальной модели.

Рассмотрим систему (проект), состоящую из одного ПМ и одного исполнителя. Исполнитель выбирает действие $y \geq 0$. Действием может быть объем выпускаемой продукции, количество отработанных часов и т.д. Для того, чтобы произвести действие y , необходимы затраты $C(y)$, которые могут включать стоимость сырья, амортизацию оборудования, затраты усилий (труд) самого исполнителя и т.д. Относительно функции затрат $C(y)$, как правило, делаются следующие предположения: $C(0) = 0$, то есть затраты при нулевом действии равны нулю, $C(y)$ является возрастающей функцией (действительно, чем больше, например, объем выпуска, тем больше затраты).

В зависимости от результатов деятельности исполнителя, ПМ получает доход $H(y)$, где $H(0) = 0$ и $H(y)$ является возрастающей функцией. Так как исполнитель участвует в проекте, то есть работает на благо ПМ, ПМ выплачивает исполнителю зарплату $\sigma(y)$, зависящую от результатов его деятельности. Зависимость $\sigma(\cdot)$ называется функцией стимулирования. Мы будем считать, что задание функции стимулирования однозначно определяет контракт между ПМ и исполнителем.

Перейдем теперь к описанию целевых функций. Целевая функция ПМ:

$$\Phi(y) = H(y) - \sigma(y) \quad (1)$$

является разностью дохода ПМ и выплат исполнителю.

Целевая функция исполнителя:

$$f(y) = \sigma(y) - C(y) \quad (2)$$

представляет собой разность его доходов (зарплаты) и затрат.

На функцию стимулирования наложим следующие ограничения: во-первых, она должна быть неотрицательной (отрицательное стимулирование может интерпретироваться как штрафы) и, во-вторых, она должна быть ограничена сверху, так как фонд стимулирования C (фонд заработной платы) ограничен. То есть, допустимыми являются функции стимулирования, удовлетворяющие условию $0 \leq \sigma(y) \leq C$.

В чем заключаются цели участников системы? Цель ПМ заключается в максимизации своей целевой функции (1), цель исполнителя - в максимизации целевой функции (2). Наложим также дополнительное ограничение - пусть ПМ должен обеспечить исполнителю значение его целевой функции, не меньшее, чем $\bar{U} \geq 0$. Величина \bar{U} может интерпретироваться как доход, который исполнитель может получить, не участвуя в данном проекте (контракте).

Например, U - доход от участия в другом контракте или пособие по безработице.

Итак, ПМ будет стремиться выбрать управляющее воздействие - функцию стимулирования таким образом, чтобы обеспечить максимум (1). Но целевая функция ПМ зависит, помимо $\sigma(\cdot)$, от действия, выбираемого исполнителем. Исполнитель, в свою очередь, будет выбирать действие, максимизирующее (2) при заданной системе стимулирования.

Порядок функционирования системы (см. главу 1) следующий:

- ПМ сообщает исполнителю зависимость $\sigma(\cdot)$;
- исполнитель, зная функцию стимулирования, выбирает действие, максимизирующее (2);
- определяются значения целевых функций участников, производятся выплаты и т.д.

ПМ на момент принятия решения о выборе управления имеет информацию о целевых функциях (1) и (2) и ограничениях C и U . Исполнитель на момент выбора действия имеет информацию о целевых функциях (1) и (2), ограничениях C и U и выбранном ПМ управлении $\sigma(y)$.

Теперь мы можем сформулировать задачу стимулирования (точнее - задачу синтеза оптимальной функции стимулирования):

$$\begin{cases} H(y^*) - s(y^*) \rightarrow \max_{0 \leq s(y) \leq C}, & (3) \\ s(y^*) - C(y^*) \geq s(y) - C(y), \forall y \geq 0, & (4) \\ s(y^*) - C(y^*) \geq U & (5) \end{cases}$$

Следует отметить, что (3) - (5) является простейшей задачей стимулирования. В общем случае, при решении более сложных задач ПМ может столкнуться со значительными трудностями. Для задачи же (3) - (5), к счастью, удастся найти оптимальное решение, не прибегая к сложным вычислительным процедурам.

Если ПМ не использует стимулирование вообще (выбирает $\sigma \equiv 0$), то, в силу (4), исполнитель выберет действие $y = 0$, минимизирующее затраты, то есть предпочтет не работать.

Легко показать, что максимальное действие, которое ПМ может побудить выбрать исполнителя, равно y_{\max} :

$$C(y_{\max}) = C - U. \quad (6)$$

Очевидно также, что ПМ может побудить исполнителя выбрать любое действие y , меньшее y_{\max} , используя, например, систему стимулирования:

$$s(y) = \begin{cases} C(y) + U, & y = y \\ 0, & y \neq y \end{cases}, \quad 0 \leq y \leq y_{\max}. \quad (7)$$

Система стимулирования (7) является оптимальной [4,6]. Теперь рассмотрим, каковы возможности ПМ по управлению исполнителем. Подставив (7) в (3), получим:

$$\Phi(y) = H(y) - C(y) - U, 0 \leq y \leq y_{\max}. \quad (8)$$

Напомним, что $H(0) = 0$ - в случае, когда стимулирование вообще не используется, значит ПМ должен использовать систему стимулирования (7), выбирая y , максимизирующее (8).

Рассмотрим пример, иллюстрирующий предложенный выше метод решения задачи стимулирования.

Пусть $C(y) = y^2$, $H(y) = y$, $C = 4$, $U = 0$. Из условия (6) определим $y_{\max} = 2$. Из (7) следует, что

$$s(y) = \begin{cases} y^2, & y = y \\ 0, & y \neq y \end{cases}, \quad 0 \leq y \leq 2. \quad (9)$$

Тогда, в соответствии с (8)

$$\Phi(y) = y - y^2. \quad (10)$$

Целевая функция ПМ (10) достигает максимума при $y = y^* = 1/2 \in [0, 2]$. Значит, оптимальная система стимулирования для рассматриваемого примера имеет вид:

$$s^*(y) = \begin{cases} \frac{1}{4}, & y = \frac{1}{2}; \\ 0, & y \neq \frac{1}{2}. \end{cases} \quad (11)$$

Проверим, действительно ли это оптимальное решение. Значение целевой функции ПМ равно $\Phi^* = 1/4$ (покажите самостоятельно, что оно не может быть больше). График целевой функции исполнителя приведен на рисунке 19.

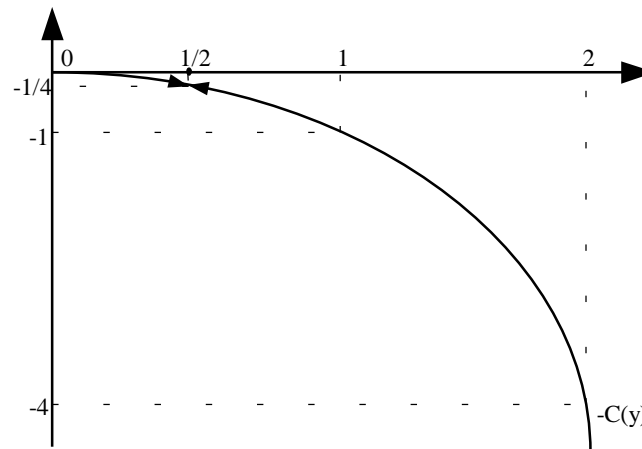


Рис. 19.

Видно, что максимум целевой функции исполнителя достигается в точках $y = 0$ и $y = 1/2$ (действительно, $f(0) = f(1/2) = 0$). В соответствии с принципом благожелательности (см. главу 1), из двух действий, одинаково выгодных для исполнителя, он выберет действие, наилучшее для ПМ. В данном примере исполнитель, с точки зрения значений своей целевой функции, безразличен между выбором действий $y = 0$ и $y = 1/2$. Но второе действие лучше для ПМ (доставляет максимум его целевой функции), поэтому можно предположить, что исполнитель выберет именно это действие (отказ от гипотезы благожелательного отношения несколько затруднит анализ и приведет к незначительному снижению эффективности [4]).

Проанализируем теперь в рассматриваемом примере зависимость оптимального решения от исходных данных.

Предположим, что $H(y) = 10y$ (все остальные параметры оставим без изменения). Тогда оптимальная функция стимулирования примет вид:

$$s^*(y) = \begin{cases} 4, & y = 2 \\ 0, & y \neq 2 \end{cases}, \quad (12)$$

причем исполнитель выберет действие $y = 2 = y_{\max}$. Значение целевой функции ПМ в этом случае равно 16. Т.е. с ростом дохода ПМ растут затраты на стимулирование - для ПМ становится выгодно побуждать исполнителя выбирать большие действия. Отметим, что при этом ПМ все равно не может заставить исполнителя выбрать действие, большее y_{\max} .

Увеличим теперь только затраты исполнителя - положим $C(y) = 4y^2$. Тогда $y_{\max} = 1$, а оптимальная система стимулирования имеет вид:

$$s^*(y) = \begin{cases} \frac{1}{16}, & y = \frac{1}{8} \\ 0, & y \neq \frac{1}{8} \end{cases}. \quad (13)$$

Исполнитель выберет действие $1/8$ (доход ПМ при этом равен $1/16 > 0$). Таким образом, с ростом затрат исполнителя уменьшаются возможности управления.

Пусть теперь увеличился фонд стимулирования (фонд заработной платы - ФЗП) $C = 9$. Тогда $y_{\max} = 3$. В случае, если доход ПМ по-прежнему равен $H(y) = y$, то оптимальна система стимулирования (13). Т.е. увеличение фонда стимулирования не всегда приводит к увеличению эффективности механизма стимулирования. Если же вместе с ростом ФЗП увеличить доход ПМ: $H(y) = 10y$, то эффективность механизма стимулирования увеличится - максимальное значение целевой функции ПМ при использовании системы стимулирования:

$$s^*(y) = \begin{cases} 9, & y = 3 \\ 0, & y \neq 3 \end{cases}, \quad (14)$$

равно 21.

Все качественные выводы о зависимости оптимального решения от параметров системы, сделанные для рассмотренного выше примера, могут быть неполучены и для общего случая.

Итак, мы привели алгоритм решения задачи стимулирования, позволяющий найти наилучший для ПМ контракт в каждом конкретном случае. Качественный анализ показывает, что правила типа «чем больше заплатишь, тем большего добьешься», работают не всегда. Лучше, используя интуицию (но не полагаясь полностью на нее), решить задачу формально, а потом проанализировать решение.

Выше мы рассмотрели задачу стимулирования в простейшей одноэлементной, статической системе и получили ее аналитическое решение. В многоэлементных и динамических системах дело обстоит не так просто, и аналитическое решение удастся найти далеко не всегда (методы численного решения задач стимулирования рассмотрены в [6]). Приведем ряд моделей.

Стимулирование в многоэлементных системах

Пусть в проекте участвуют ПМ и n исполнителей. Понятно, что если исполнители в определенном смысле независимы, то ПМ может решать, как стимулировать каждого из них независимо от других. В этом случае задача распадается на набор одноэлементных задач, методы решения которых описаны выше. Если же исполнители взаимозависимы, то задача существенно усложняется. Рассмотрим некоторые возможные случаи.

Одним из классов организационных систем являются так называемые системы со слабо связанными элементами, в которых исполнители не связаны друг с другом технологически и ресурсно, а существуют ограничения на общий суммарный фонд заработной платы.

Целевая функция ПМ в этом случае имеет вид:

$$\Phi(y_1, \dots, y_n) = H(y_1, \dots, y_n) - \sum_{i=1}^n S_i(y_i), \quad (15)$$

где $H(y_1, \dots, y_n)$ - доход ПМ, зависящий от результатов деятельности исполнителей

$y = (y_1, \dots, y_n)$, $S_i(y_i)$ - стимулирование i -го исполнителя, а $\sum_{i=1}^n S_i(y_i)$ - суммарные

затраты на стимулирование. Предположим, что стимулирование i -го исполнителя

ограничено $0 \leq S_i \leq C_i$, где C_i - некоторые константы, $\sum_{i=1}^n C_i \leq C$, где C - общий

ФЗП.

Целевые функции исполнителей имеют вид:

$$f_i(y_i) = S_i(y_i) - C_i(y_i), \quad i = \overline{1, n}, \quad (16)$$

где $C_i(y_i)$ - затраты i -го исполнителя. Задача стимулирования заключается в поиске

таких функций стимулирования $\{S_i(y_i)\}_{i=1}^n$ (контрактов), которые максимизировали бы целевую функцию ПМ (15), при условии, что действия,

выбираемые исполнителями, максимизируют их собственные целевые функции. То есть ПМ решает следующую задачу:

$$H(y_1^*, y_2^*, \dots, y_n^*) - \sum_{i=1}^n S_i(y_i^*) \rightarrow \max_{\{S_i\}} \quad (17)$$

$$S_i(y_i^*) - C_i(y_i^*) \geq S_i(y_i) - C_i(y_i), \forall y_i \geq 0, i = \overline{1, n} \quad (18)$$

$$S_i(y_i^*) - C_i(y_i^*) \geq \overline{U}_i, i = \overline{1, n} \quad (19)$$

Содержательная интерпретация ограничений (19) такая же, как и ограничения (5) в одноэлементной задаче. Таким образом, контракт в многоэлементной системе имеет вид $\sigma = (\sigma_1(\cdot), \dots, \sigma_n(\cdot))$.

Основная идея, на которой основывается решение задач стимулирования в системах со слабо связанными элементами (17) - (19), заключается в следующем. При фиксированных ограничениях механизма стимулирования C_i ПМ может определить множество тех действий исполнителей, которые им наиболее полезны. Зная эти параметрические зависимости, ПМ может свести задачу стимулирования к стандартной задаче условной оптимизации - выбрать параметры $\{C_i\}$, максимизирующие целевую функцию ПМ при ограниченности суммарного фонда заработной платы:

$$\sum_{i=1}^n C_i \leq C. \quad (20)$$

Предположим, что мы нашли зависимости $y_i^{\max}(C_i)$ (см. (6) - (7)). Пусть целевая функция ПМ монотонна. Тогда задача (17) - (19) может быть заменена на задачу максимизации

$$H(y_1^{\max}(C_1) \dots y_n^{\max}(C_n)) - \sum_{i=1}^n [C_i(y_i^{\max}(C_i)) + \overline{U}_i] \quad (21)$$

выбором (C_1, \dots, C_n) , удовлетворяющих условию (20).

Рассмотрим следующий пример. Пусть затраты $C_i(y_i) = \alpha_i y_i^2$, $H(y_1, \dots, y_n) = \sum_{i=1}^n b_i y_i$, где α_i, β_i - положительные константы, и $b_i \geq \sqrt{C_i a_i}$, $i = \overline{1, n}$, $\overline{U}_i = 0$.

Тогда $y_i^{\max}(C_i) = \sqrt{C_i/a_i}$, а оптимальный вектор ограничений может быть найден в результате решения задачи:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n \left[b_i \sqrt{\frac{C_i}{a_i}} - C_i \right] \rightarrow \max_{C \geq 0} \\ \sum_{i=1}^n C_i \leq C \end{cases} \quad (22)$$

Решение задачи (22) имеет вид:

$$C_i = C \frac{b_i^2/a_i}{\sum_{j=1}^n b_j^2/a_j}, \quad i = \overline{1, n}. \quad (23)$$

Проанализируем выражение (23). Ограничение функции стимулирования C_i монотонно возрастает по β_i . Действительно, β_i характеризует «весомость» вклада результата i -го исполнителя в функцию дохода ПМ. Чем больше этот вклад - тем больше надо платить. С другой стороны, C_i убывает по α_i , то есть, чем больше затраты на достижение одного и того же результата, тем меньше следует платить исполнителю, так как его эффективность невысока.

Рассмотрим несколько другой подход к описанию интересов ПМ и исполнителей. Целевые функции исполнителей (16) используют представление «стимулирование минус затраты». Однако, возможно представление в виде «доход минус штрафы»:

$$f_i(y_i) = h_i(y_i) - c_i(y_i), \quad i = \overline{1, n}, \quad (24)$$

где $h_i(y_i)$ - доход i -го исполнителя от результатов его деятельности, χ_i - штрафы за несоответствие действий с оговоренными в контракте. Предположим, что штрафы ограничены $0 \leq \chi_i \leq C_i$, $i = \overline{1, n}$. Допустим, ПМ получает доход от деятельности исполнителей, но штрафы, взимаемые с исполнителей, не входят в целевую функцию ПМ:

$$\Phi(y) = H(y_1, \dots, y_n).$$

Задача стимулирования в этом случае примет вид (сравните с (17) - (19)):

$$\begin{cases} H(y_1^*, \dots, y_n^*) \rightarrow \max_{\{c_i\}} \end{cases} \quad (25)$$

$$\begin{cases} h_i(y_i^*) - c_i(y_i^*) \geq h_i(y_i) - c_i(y_i), \forall y_i \geq 0, i = \overline{1, n}. \end{cases} \quad (26)$$

Методы решения задач типа (25) - (26) (поиска множества действий исполнителей, выбираемых при различных системах стимулирования и т.д.) рассмотрены в [6]. Проиллюстрируем на следующем примере решение задачи стимулирования в системе со слабо связанными элементами, имеющими целевые функции вида (24)-(25).

Пусть $h_i(y_i) = y_i - (1/2\alpha_i)y_i^2$, где α_i - некоторые положительные константы, $i = \overline{1, n}$, $H(y) = \sum_{i=1}^n b_i y_i$, $\sum_{i=1}^n C_i \leq C$ - бюджетное ограничение.

Легко показать, что максимальное действие, которое ПМ может побудить выбрать i -го исполнителя, равно $y_i^{\max}(C_i) = a_i + \sqrt{2a_i C_i}$, $i = \overline{1, n}$. Так как ПМ заинтересован в том, чтобы каждый исполнитель выбирал максимально возможное действие (функция $H(y)$ монотонно возрастает по каждой из своих переменных), то задача заключается в том, как распределить ограничения механизма стимулирования $\{C_i\}$, причем бюджетное ограничение будет выполнено как равенство. Получим, что ПМ должен выбором $\{C_i\}$ максимизировать

$$\sum_{i=1}^n b_i [a_i + \sqrt{2a_i C_i}] \quad (27)$$

при ограничении (20). Решение этой задачи имеет вид:

$$C_i = C \frac{a_i b_i^2}{\sum_{j=1}^n a_j b_j^2}, i = \overline{1, n}. \quad (28)$$

Анализ и содержательная интерпретация решения (28) совпадают с анализом (23), проведенным выше.

Перейдем к рассмотрению систем с «сильно» связанными элементами. Под сильно связанными элементами будем понимать исполнителей, у которых стимулирование, доход, множество допустимых действий или другие параметры зависят как от их собственных действий, так и от действий остальных исполнителей. Универсальных подходов к решению задачи стимулирования в этом случае не существует. Важными становятся интуиция и опыт ПМ в решении задач такого рода, а также знание базовых моделей, для которых удастся получить (а иногда и угадать) оптимальное решение. В качестве примера можно привести двухэлементную систему, рассмотренную в первой главе. Тогда нам удалось найти аналитическое решение для случая, когда исполнители были связаны в технологическую цепочку и стимулирование каждого из исполнителей зависело явным образом только от результатов деятельности второго исполнителя, выпускающего конечную продукцию. Понятно, что при этом объем выпуска второго исполнителя зависел от результатов деятельности первого исполнителя - они были «сильно» связаны.

Часто ПМ сталкивается со следующей ситуацией. Эффективность реализации проекта зависит от действий всех исполнителей. Обозначим эффект (который может интерпретироваться как доход от продажи продукции и т.д.) $\mathcal{E} = \mathcal{E}(y_1, \dots, y_n)$. Предположим, что какая-то часть этого дохода идет на фонд материального поощрения: $\Phi ЗП = \alpha \mathcal{E}$, $\alpha < 1$. Вклад различных исполнителей в общий эффект разный. Как стимулировать исполнителей? Пусть стимулирование исполнителя

прямо пропорционально общему эффекту: $\sigma_i(y_i) = \alpha_i \mathcal{E}(y_1, \dots, y_n)$, $\alpha_i \geq 0$, $i = \overline{1, n}$.

Естественно потребовать сбалансированности выплат: $\sum_{i=1}^n a_i = a$. Если целевая

функция исполнителя есть разность стимулирования и затрат, то выбираемые исполнителями действия максимизируют целевые функции при заданном стимулировании. Например, y_i имеет смысл «эффекта i -го исполнителя», а $\mathcal{E}(y) =$

$\sum_{i=1}^n b_i y_i$, где $\beta_i \geq 0$ - коэффициент, характеризующий вклад i -го исполнителя в

общий эффект (этот вклад можно считать относительным, если $\sum_{i=1}^n b_i = 1$).

Предположим, что затраты исполнителей имеют вид $C_i(y_i) = (\gamma_i y_i^2)/2$, $\gamma_i \geq 0$, $i = \overline{1, n}$.

Тогда i -й исполнитель будет выбирать действие из условия:

$$a_i \sum_{j=1}^n b_j y_j - \frac{g_i y_i^2}{2} \rightarrow \max_{y_i \geq 0}, \quad i = \overline{1, n}, \quad (29)$$

то есть $y_i^* = (\alpha_i \beta_i) / \gamma_i$, $i = \overline{1, n}$. Если ПМ заинтересован в максимизации $(1-\alpha)\mathcal{E}(y)$, то подставив y_0^* , получим:

$$\sum_{i=1}^n \frac{a_i b_i^2}{g_i} \rightarrow \max_{\{a_i'\}}, \quad (30)$$

при ограничении $\sum_{i=1}^n a_i = a$. Решением этой задачи является

$$a_i = \begin{cases} 0, & i \neq k \\ a, & i = k \end{cases},$$

где k - номер исполнителя с максимальным отношением (β_i^2 / γ_i) . Действительно, в этом случае лучше уволить всех, кроме одного исполнителя с максимальным вкладом в общий эффект и минимальными затратами. Вряд ли такое решение можно признать универсальным. Мы рассмотрели крайний случай. Линейный вид функции эффекта означает, что нет требований к комплектности исполнителей. Однако, если такая ситуация встречается на практике, то следует использовать

полученное решение. Если функция эффекта имеет вид $\mathcal{E}(y) = \sum_{i=1}^n b_i \sqrt{y_i}$, то, по

анalogии с (29), получим $y_i^*(a_i) = \left(\frac{a_i b_i}{2g_i} \right)^{2b}$. Решение задачи стимулирования:

$$a_i = a \frac{b_i^2 / \sqrt{2g_i}}{\sum_{j=1}^n \left(\frac{b_j^2}{\sqrt{2g_j}} \right)}$$

представляется более естественным - зарплата исполнителя пропорциональна его вкладу в общий эффект (β_i) и обратно пропорциональна величине затрат (γ_i).

Стимулирование в динамических активных системах

Естественным расширением базовой одноэлементной статической задачи стимулирования является задача стимулирования в многоэлементных статических системах, рассмотренная выше. Другим расширением является задача стимулирования в одноэлементной динамической системе, то есть в системе (проекте), функционирующей в течение нескольких периодов времени. Необходимо признать, что исследование многоэлементных динамических систем является достаточно сложной задачей и выходит за рамки настоящей работы.

Рассмотрим проект с одним исполнителем, функционирующий в течение конечного числа T периодов. Результат деятельности исполнителя $y_t \in A_t$ в периоде t ($t = \overline{1, T}$) требует от него затрат $C_t(y_t)$ и приносит ПМ доход $H_t(y_t)$. Выплаты ПМ исполнителю в периоде t равны $\sigma_t(y_t)$. Целевые функции ПМ и исполнителя имеют, соответственно, вид:

$$\Phi(y_t, \sigma_t) = H_t(y_t) - \sigma_t(y_t) \quad , \quad (31)$$

$$f_t(y_t, \sigma_t) = \sigma_t(y_t) - C_t(y_t) \quad . \quad (32)$$

Как правило, ПМ и исполнитель стремятся максимизировать суммарную дисконтированную полезность:

$$\Phi(y, s) = \sum_{t=1}^T \delta^t \Phi_t \quad , \quad (33)$$

$$f(y, s) = \sum_{t=1}^T \gamma^t \Phi_t \quad , \quad (34)$$

где δ и γ - коэффициенты дисконтирования ПМ и исполнителя ($\delta, \gamma \in (0, 1]$), $y = (y_1, \dots, y_T)$, $\sigma = (\sigma_1, \dots, \sigma_T)$. Отметим, что возможно представление целевой функции ПМ в более общем виде, чем (33), а именно:

$$\Phi(y, s) = H(y_1, \dots, y_T) - \sum_{t=1}^T \delta^t s_t(y_t).$$

Если коэффициенты дисконтирования равны единице и периоды не связаны между собой, то задача стимулирования в динамической активной системе (задача максимизации (33) выбором σ , при условии, что y выбирается из условия максимума (34)) распадается на T одноэлементных задач, каждая из которых

может быть решена независимо. Если, по аналогии с приведенным выше рассмотрением задач стимулирования в многоэлементных системах со слабо связанными элементами, периоды функционирования между собой не связаны, но существует общее для всех периодов ограничение (например, если ФЗП - сумма выплат по всем периодам, ограничен), то возможно использование следующего подхода. Для каждого из периодов отдельно решается задача стимулирования. Решение этой задачи будет параметрически зависеть от ограничений механизма стимулирования (например, можно найти зависимости y_i^* от C_i , где C_i - ограничение на σ_i). После этого остается получить оптимальные значения параметров, что, как правило, удастся сделать, решив соответствующую задачу условной оптимизации (см. решение задачи (17)-(19)).

Если зависимость между периодами более «сильная», то решение задачи стимулирования становится менее тривиальным.

Следует отметить, что между задачами стимулирования в многоэлементных статических и одноэлементных динамических системах много общего. Сравните, например, вид целевых функций (31)-(34) и (15)-(16). Видно, что они достаточно похожи, если номер исполнителя в многоэлементной задаче считать номером периода функционирования в динамической задаче. В то же время, естественно, есть различия. Вспомним пример двухэлементной системы (технологическая цепочка исполнителей), рассмотренный в первой главе. Если рассматривать первого исполнителя как первый период функционирования - производство полуфабрикатов, а второго исполнителя как второй период - выпуск конечной продукции, то представляется вполне логичным, чтобы стимулирование исполнителей зависело от объема выпуска конечного продукта ($\sigma_1 = \sigma_1(y_2)$, $\sigma_2 = \sigma_2(y_2)$). Однако, если посмотреть на эту систему как на динамическую, то нарушается причинно-следственная связь: выплаты производятся в каждом периоде и стимулирование исполнителя в первом периоде зависит от результатов его деятельности во втором периоде. Таким образом, действительно существуют аналогии между многоэлементными и динамическими системами. Однако, использовать эти аналогии следует достаточно осторожно.

Рассмотрим некоторые примеры решения задач стимулирования в динамических системах.

Пусть проект длится в течение двух периодов времени ($T = 2$) и его целью является производство максимального количества продукции при фиксированном ФЗП, то есть $N(y_1, y_2) = \lambda(y_1 + y_2)$, $\sigma_1 + \sigma_2 \leq C$, где λ - внешняя цена на продукт. Затраты исполнителя в первом периоде - $C_1(y_1) = \beta_1 y_1$, $\beta_1 > 0$, во втором периоде - $C_2(y_2) = \beta_2 y_2$, $\beta_2 > 0$, причем $\beta_1 > \beta_2$. Последнее условие означает, что затраты на производство исполнителем единицы продукции ($C(y)/y$) в первом периоде больше, чем во втором. Содержательно это может означать, что в первом периоде происходит «обучение» исполнителя, а во втором периоде эффективность его деятельности выше за счет накопленного опыта. Тогда (см. задачу стимулирования в одноэлементной статической системе) ПМ может побудить исполнителя выбрать в первом периоде действие, не большее, чем $y_1^*(C_1) = C_1/\beta_1$, а во втором - не большее, чем $y_2^*(C_2) = C_2/\beta_2$. Теперь перед ПМ стоит задача - как разделить ресурс

С между периодами ($C_1 + C_2 = C$, $\lambda C_1 \geq \beta_1 C$, $\lambda C_2 \geq \beta_2 C$), чтобы обеспечить максимальный суммарный объем выпуска:

$$\begin{cases} I \left(\frac{C_1}{b_1} + \frac{C_2}{b_2} \right) \rightarrow \max_{C_1 \geq 0, C_2 \geq 0} & (35) \\ C_1 + C_2 = C & (36) \end{cases}$$

Очевидно, решение задачи (35) - (36) имеет вид $C_1 = 0$, $C_2 = C$ (в общем случае следует вложить весь ресурс в тот период, в котором эффективность исполнителя максимальна, то есть минимальны удельные затраты). Сравните это решение с решением задачи (30). Отметим, что в рассмотренном выше примере оба периода «равноправны» - отсутствует дисконтирование. При этом мы «потеряли» эффект обучения в первом периоде. Для того, чтобы этот эффект «заработал», необходимо в задаче (35) - (36) добавить ограничение, связывающее y_1 и y_2 и отражающее эффект обучения.

Рассмотрим как изменится результат, если ПМ дисконтирует полезность, а исполнитель - нет. Предположим, что ПМ, получив в конце первого периода y_1 единиц продукции, продает ее по цене λ , получает доход λy_1 и помещает этот доход в банк со ставкой процента δ (за один период функционирования). Тогда к концу второго периода его доход составит $(1+\delta)\lambda y_1 + \lambda y_2$. Решая задачу, аналогичную (35) - (36), получим :

$$C_1 = \begin{cases} C, & \text{если } \frac{(1+d)}{b_1} > \frac{1}{b_2} \\ 0, & \text{если } \frac{(1+d)}{b_2} < \frac{1}{b_2} \end{cases}, \quad C_2 = C - C_1. \quad (37)$$

Если $(1+\delta)\beta_2 = \beta_1$, то размещать средства по периодам можно в любой пропорции, удовлетворяющей (36). Проанализируем решение (37) и сравним его с решением задачи (35) - (36). Если ставка процента δ достаточно высока, то несмотря на более высокие затраты выгоднее вложить весь ресурс C в первый период. Если δ мало, то по-прежнему лучше вкладывать все во второй период, не используя услуги банка. Таким образом, в модифицированной модели «эффективностью» исполнителей в различных периодах служат уже не β_1 и β_2 , а $\beta_1/(1+\delta)$ и β_2 . Описанная модель легко обобщается на случай любого конечного числа периодов.

Рассмотрим теперь модель проекта, в котором периоды связаны более жестко. Пусть $T = 2$, y_1 - результат первого периода, $z_2 = z_2(y_1, y_2)$ - результат второго периода, зависящий от действий y_2 исполнителя во втором периоде и результатов действия y_1 первого периода (см. эффект обучения выше). Качественно выделим зависимости z_2 от y_1 двух типов:

1. z_2 - возрастающая функция y_1 . Содержательно y_1 может отражать квалификацию исполнителя (см. предыдущий пример), его «задел» на будущее и т.д.

2. z_2 - убывающая функция y_1 . Примером может служить проект, заключающийся в разработке месторождения полезных ископаемых, процесс старения оборудования и т.д.

Получили, что ПМ решает задачу:

$$\begin{cases} Iy_1^* + Idz_2^* - s_1(y_1^*) - ds_2(y_2^*) \rightarrow \max_{s_1(\cdot), s_2(\cdot)} & (38) \\ s_1(y_1^*) - C_1(y_1^*) \geq s_1(y_1) - C_1(y_1), \forall y_1 \geq 0, & (39) \\ s_2(z_2^*) - C_2(y_2^*) \geq s_2(z_2) - C_2(y_2), \forall y_2 \geq 0 & (40) \end{cases}$$

где $z_2^* = z_2(y_1^*, y_2^*)$, $z_2 = z_2(y_1, y_2)$.

Условие (38) означает, что ПМ выбором σ_1 и σ_2 стремится минимизировать разность между суммарным дисконтированным доходом от продаж продукции и суммарными дисконтированными затратами на стимулирование. Условия (39) и (40) определяют, что исполнитель выбирает в первом и втором периоде, соответственно, действия y_1^* и y_2^* из условия максимума своей целевой функции.

Отметим, что при исследовании динамических задач стимулирования существенно, объявляет ли ПМ $\{\sigma_1(\cdot); \sigma_2(\cdot)\}$ в начале первого периода (тогда исполнитель может в начале первого периода решить, какие действия y_1^* и y_2^* он выбирает исходя из условия максимизации суммарной дисконтированной полезности) или ПМ объявляет $\sigma_1(\cdot)$ в начале первого периода и $\sigma_2(\cdot)$ - в начале второго. В последнем случае задача гораздо «ближе» к статической. Возможны случаи, когда стимулирование во втором периоде зависит от результатов не только второго, но и первого периода. Такие контракты называются контрактами с памятью [6].

Выберем в рассматриваемом примере $C_1(y_1) = \beta_1 y_1^2$, $\beta_1 > 0$, $C_2(y_2) = \beta_2 y_2^2$, $\beta_2 > 0$, $z_2 = y_2 + \alpha y_1$, где $0 \leq \alpha \leq 1$. Предположим, что ограничений на систему стимулирования не наложено. Тогда использование системы стимулирования К-типа [6] побудит исполнителя выбирать следующие действия:

1. в первом периоде:

$$y_1^* = \begin{cases} C_1(y_1), & \text{если } y_1 \leq y_1^* \\ 0, & \text{если } y_1 > y_1^* \end{cases}, \quad (41)$$

2. во втором периоде:

$$y_2^* = \begin{cases} C_2(y_2), & \text{если } y_2 \leq y_2^* \\ 0, & \text{если } y_2 > y_2^* \end{cases}, \quad (42)$$

Во втором периоде результат деятельности будет равен $z_2^* = y_2^* + \alpha y_1^*$, а суммарные затраты ПМ на стимулирование будут равны $(\beta_1 y_1^{*2} + \delta \beta_2 y_2^{*2})$. Подставляя в (38), получим:

$$Iy_1^* + Is(y_2^* + \alpha y_1^*) - b_1 y_1^{*2} - db_2 y_2^{*2} \rightarrow \max_{y_1^* \geq 0, y_2^* \geq 0}. \quad (43)$$

Оптимальные значения:

$$\begin{aligned}
 y_1^* &= \frac{I}{2b_1}(1 + da), \\
 y_2^* &= \frac{I}{2b_2}.
 \end{aligned}
 \tag{44}$$

Оптимальные действия (44) обратно пропорциональны затратам, что представляется достаточно понятным. Более того, y_1^* - возрастает по α . Действительно, так как результат первого периода влияет на второй, причем влияет положительно (чем больше y_1 , тем больше y_2), то чем сильнее это влияние, тем больше должно быть y_1^* . И, наконец, отметим, что y_2^* не зависит от коэффициента дисконтирования, так как содержательно функционирование системы заканчивается с окончанием второго периода (см. приведенный выше пример, в котором используются банковские вклады).

Завершая описание контрактных механизмов стимулирования в детерминированных системах, отметим, что, помимо решения задачи синтеза, можно решать следующую задачу (до сих пор мы выбором контракта максимизировали целевую функцию ПМ при фиксированном ФЗП) - каковы должны быть ограничения механизма стимулирования (минимальный ФЗП) для того, чтобы обеспечить, например, заданный объем выпуска. Используя (41) - (42), для рассмотренного выше примера можно найти $y_1^* = \sqrt{C_1/b_1}$, $y_2^* = \sqrt{C_2/b_2}$ и решить задачу:

$$\begin{cases}
 C_1 + C_2 \rightarrow \min, \\
 (1+a)\sqrt{\frac{C_1}{b_1}} + \sqrt{\frac{C_2}{b_2}} \geq X,
 \end{cases}
 \tag{45}$$

где C_i - ограничение сверху на функцию стимулирования σ_i ($i = 1, 2$), а X - требуемый объем выпуска. Найдите и проанализируйте самостоятельно решение задачи (45).

4.2. Стимулирование в условиях неопределенности

В разделе 4.1 была рассмотрена простейшая детерминированная задача стимулирования. В этой модели предполагалось, что и ПМ, и исполнители имеют полную информацию друг о друге и об окружающей среде. Такое предположение иногда оказывается слишком сильным, а сама модель - несколько идеализированной. Ведь на практике, например, ПМ может не знать точно возможностей исполнителей, результат деятельности исполнителей может зависеть от многих факторов, в том числе случайных или неопределенных. Для того, чтобы построить адекватную систему управления проектом необходимо учитывать эти случайные и неопределенные факторы. Поэтому в настоящем разделе приводятся некоторые модели систем с неопределенностью и проводится анализ задачи синтеза оптимальной функции стимулирования для этого случая.

Различают следующие виды неопределенности: внутреннюю, когда участники системы недостаточно информированы друг о друге, и внешнюю неопределенность, когда параметры проекта зависят от внешних факторов - так называемого «состояния природы». Почти во всех моделях систем с неопределенностью используется следующий подход: участники системы на основании имеющейся у них информации устраняют (снижают) неопределенность, сводя задачу к детерминированной и принимают решение в «детерминированных» условиях.

Метод устранения неопределенности, используемый ПМ и исполнителями, зависит от той информации о неизвестных параметрах, которой они обладают. В частности различают следующие способы снижения или устранения неопределенности:

1. Если участнику проекта известен только диапазон возможных значений неизвестного параметра, то он может использовать метод максимального гарантированного результата (МГР - см. главу 1 настоящей работы). При использовании метода МГР элемент рассчитывает на наихудшее для него значение неизвестного параметра и стремится сделать все от него зависящее, чтобы максимизировать свою целевую функцию в этой наихудшей для него ситуации. Можно использовать более оптимистичный, чем МГР, подход, то есть рассчитывать на наилучшую ситуацию и т.д. (задача стимулирования в условиях интервальной неопределенности).

2. Если элементу известны статистические характеристики неизвестного параметра (то есть он обладает большей информацией, чем в первом случае), то можно использовать эту информацию и ориентироваться на ожидаемые значения целевых функций. При этом устранение неопределенности происходит путем усреднения целевых функций по известному распределению случайных величин (задача стимулирования в вероятностных системах).

3. Если участники проекта асимметрично информированы, то есть один из них (например, исполнитель) обладает большей (чем ПМ) информацией, то ПМ может устранить неопределенность, попросив исполнителя сообщить информацию о неизвестном параметре, и использовать эту информацию при принятии управленческих решений. При этом, очевидно, возникает задача манипулирования (задача стимулирования в системах с сообщением информации).

4. Если имеются несколько одинаковых исполнителей, работающих в одинаковых условиях, то, используя сравнение результатов их деятельности, ПМ может получить информацию о неизвестных ему условиях деятельности исполнителей. Для этого нужно выбрать соответствующую структуру системы управления (многоканальные механизмы стимулирования).

Мы не будем останавливаться подробно на описании метода МГР [4, 6] и ограничимся в дальнейшем рассмотрением последних трех методов устранения неопределенности.

Вероятностная задача стимулирования

При рассмотрении детерминированной задачи стимулирования (раздел 4.1) предполагалось, что результат деятельности исполнителя совпадает с его действием. Однако в жизни желаемое (планируемый результат - действие), к сожалению, не всегда совпадает с действительностью. При анализе вероятностной задачи стимулирования мы будем предполагать, что результат деятельности исполнителя $z \in A_0$ может отличаться от его действия $y \in A$ и является случайной величиной, зависящей как от действия исполнителя, так и от «состояния природы». Например, если результатом деятельности исполнителя является количество производимой им продукции, то этот результат зависит как от самого исполнителя (его действий - количества отработанных человеко-часов, выбора технологии и т.д.), так и от внешних случайных факторов, например, степени соблюдения графика поставок комплектующих, ситуации на рынке труда и т.д.

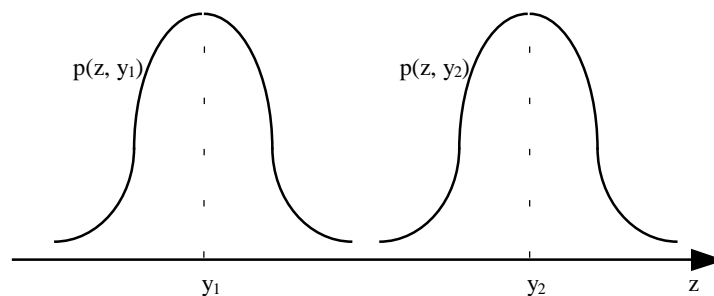


Рис. 20.

Предположим, что и ПМ, и исполнителю известно распределение вероятностей $p(z, y)$ реализации результата z , при выбранном действии y . Обозначим $F(z, y)$ - соответствующую плотности $p(z, y)$ интегральную функцию распределения. Например, результат z может быть суммой y и случайной величины - состояния природы Θ (Θ может рассматриваться как аддитивная помеха). Если математическое ожидание Θ равно нулю, то результат деятельности исполнителя в среднем равен его действию. Однако, возможно, $\Theta > 0$, тогда $z > y$ - благоприятное для исполнителя «состояние природы». Если $\Theta < 0$, то результат оказывается меньше действия - неблагоприятное «состояние природы», к сожалению, столь часто встречающееся на практике. Примерный вид функции распределения для этого случая приведен на рисунке 20. Видно, что при больших действиях в среднем получается больший результат.

Другим примером функции распределения является функция распределения вида:

$$F(z, y) = \begin{cases} F(z), & z < y \\ 1, & z \geq y \end{cases}, \quad (1)$$

используемая в так называемой модели простого активного элемента [7]. Примерный вид функции (1) приведен на рисунке 21.

Содержательно, y является верхней границей, устанавливаемой исполнителем. Действительно, $F_z(x, y)$ - вероятность того, что результат деятельности исполнителя z окажется меньшим, чем x . В соответствии с (1), z не может быть больше действия y , то есть внешняя помеха может только уменьшить действительный результат по сравнению с планируемым.

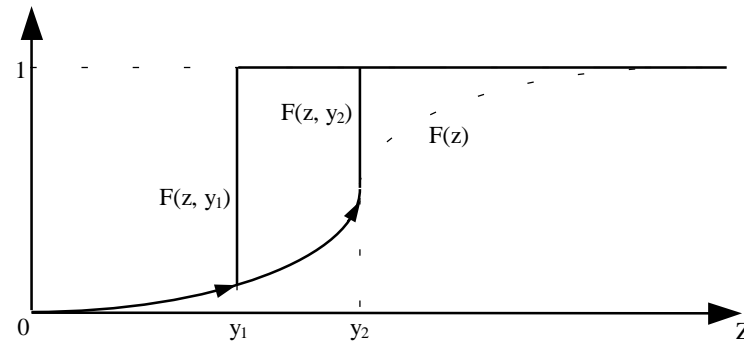


Рис. 21.

Перейдем к описанию целевых функций. Целевая функция ПМ зависит от результата деятельности исполнителя и может интерпретироваться как его доход:

$$\Phi(z) = H(z). \quad (2)$$

Целевая функция исполнителя зависит от его результата и является разностью дохода и штрафов:

$$f(z) = h(z) - \chi(z), \quad (3)$$

где $h(z)$ - доход исполнителя, $\chi(z)$ - штрафы, выплачиваемые проект - менеджеру.

Информированность участников и порядок функционирования следующие:

1. ПМ, зная целевые функции (2), (3) и вероятностное распределение, выбирает функцию штрафов и сообщает ее исполнителю.
2. Исполнитель, зная $\chi(z)$, целевые функции (2), (3) и вероятностное распределение результатов, выбирает действие $y \geq 0$.
3. Реализуется (становится известным исполнителю) «состояние природы» Θ , определяется результат $z = z(y, \Theta)$.
4. ПМ наблюдает результат z и взимает штрафы $\chi(z)$.

Следует отметить, во-первых, что ни ПМ, ни исполнитель на момент выбора своих стратегий (функции штрафов и действия, соответственно) не знают, каково

будет состояние природы. Во-вторых, ПМ наблюдает только результат z , но не знает, каково было действие исполнителя.

Такого рода информированность участников проекта достаточно распространена на практике. ПМ может не знать (а иногда и не интересоваться), что планировал сделать исполнитель (какое действие он выбрал). ПМ производит выплаты только на основании результата деятельности. Этот факт (незнание стратегии исполнителя) является одним из принципиальных отличий вероятностной задачи стимулирования от детерминированной. Как будет видно из дальнейшего изложения, если бы ПМ мог наблюдать действие исполнителя и стимулировать именно за действие, а не за результат, то вероятностная задача легко сводилась бы к детерминированной и проблем с ее решением возникало бы гораздо меньше.

Так как ПМ и исполнитель на момент принятия решений не знают состояния природы, то предположим, что они, используя информацию о распределении вероятностей, стремятся максимизировать ожидаемые значения своих целевых функций (2) и (3), то есть:

$$\Phi(c, y) = \int_{A_0} H(z)p(z, y)dz = H(y), \quad (4)$$

$$f(c, y) = \int_{A_0} [h(z) - c(z)]p(z, y)dz, \quad (5)$$

соответственно.

Задача стимулирования в вероятностной системе имеет вид:

$$\begin{cases} H(y^*) \rightarrow \max_{c(\cdot)} \\ f(c, y^*) \geq f(c, y) \quad \forall y \in A. \end{cases} \quad (6)$$

Выражение (6) означает, что ПМ выбором системы стимулирования (функции штрафов) стремится максимизировать ожидаемое значение своей целевой функции (4). При этом он должен помнить, что исполнитель выберет действие, максимизирующее ожидаемое значение его собственной целевой функции (5) при известной системе стимулирования (сравните задачу (4) - (7) с детерминированной задачей стимулирования, рассмотренной в разделе 4.1).

Как правило, найти решение вероятностной задачи стимулирования гораздо сложнее, чем детерминированной. Общие подходы к ее решению описаны в [6]. В общем случае не всегда удается найти аналитический вид оптимального решения даже для одноэлементной статической вероятностной системы. К счастью, решение задачи (6)-(7) с функцией распределения (1) удастся найти достаточно легко [6]. В классе ограниченных константой C положительных функций штрафов оптимальна система стимулирования К-типа:

$$c(z) = \begin{cases} h(z) - h(z_{\max}) + C, & z_{\min} \leq z \leq z_{\max} \\ 0, & z \leq z_{\min}, z \geq z_{\max} \end{cases}, \quad (8)$$

где z_{\min} , z_{\max} таковы, что $z_{\min} \leq z_{\max}$, $h(z_{\min}) = h(z_{\max}) = h_{\max} - C$, где h_{\max} - максимальное значение функции дохода исполнителя. Функции штрафов типа (8) называются компенсаторными, так как они выводят на константу (компенсируют доход) целевую функцию (3) исполнителя. Если $h(z) = z - (1/2r) z^2$, $r > 0$, то $h_{\max} = r/2$, $z_{\min} = r - \sqrt{2rC}$, $z_{\max} = r + \sqrt{2rC}$. График целевой функции исполнителя для этого примера приведен на рисунке 22, а график функции штрафов К-типа - на рисунке 23.

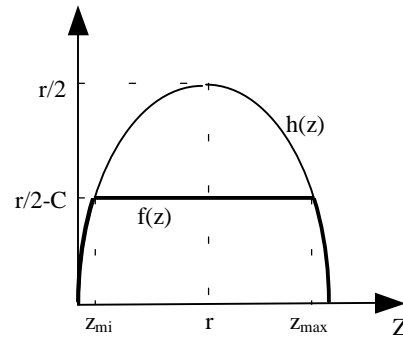


Рис. 22.

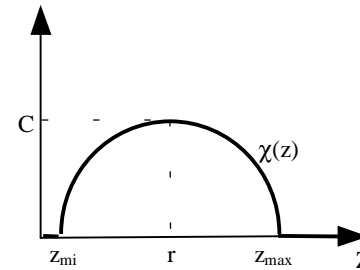


Рис. 23.

Легко видеть, что с ростом ограничения C механизма стимулирования, множество $[z_{\min}, z_{\max}]$ растет. А это множество - не что иное, как множество действий, которые ПМ может побудить выбрать исполнителя, используя оптимальную систему стимулирования.

Отметим, что все результаты по стимулированию в многоэлементных и динамических системах (описанные в разделе 4.1), могут быть использованы при управлении вероятностными системами. Поэтому останавливаться на описании задачи стимулирования в многоэлементных и динамических вероятностных системах мы не будем (специфика этих задач достаточно полно отражена в работе [6]).

Надежность контрактов

В разделах 1.2.3 и 2.1.3 при рассмотрении надежности проектов мы, в основном, исследовали методы повышения надежности за счет выбора состава исполнителей и распределения ресурса, считая известным риск (надежность) исполнителей. Теперь мы имеем все необходимое для определения и изучения надежности исполнителей.

В детерминированных моделях стимулирования результат деятельности исполнителя был детерминированной величиной, и риск был равен нулю. В системах с неопределенностью понятие риска приобретает смысл, если результат исполнителя - случайная величина, или если существует неопределенность,

связанная с асимметричной информированностью. Поэтому определим надежность исполнителей (надежность контракта).

Если результат деятельности исполнителя принимает, например, неотрицательные значения, то требования к проекту можно формализовать следующим образом: будем считать проект выполненным, если результат деятельности исполнителя не меньше некоторого критического значения V . В системах с несколькими исполнителями или в динамических системах выполнению проекта будет соответствовать некоторая допустимая область в пространстве результатов исполнителей.

Под надежностью исполнителя будем понимать вероятность того, что результат его деятельности окажется в допустимой области. Соответственно, риск будет определяться вероятностью невыполнения проекта, или вероятностью того, что результат деятельности исполнителя (исполнителей) окажется вне допустимой области.

Таким образом, надежность:

$$q = \text{Prob}\{Z \geq V \mid y^*\} = 1 - F(V, y^*), \quad (9)$$

где Prob - означает вероятность некоторого события, а y^* - действие, выбираемое исполнителем. Видно, что надежность исполнителя (9) зависит от критического значения V результата деятельности и от выбранного исполнителем действия. Последнее, в свою очередь, зависит от используемой системы стимулирования (см. условие (7)), то есть от контракта. Поэтому надежность исполнителя иногда называют надежностью контракта.

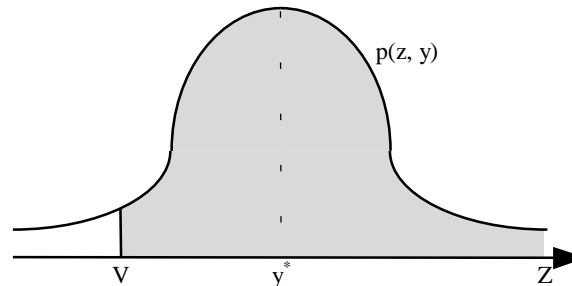


Рис. 24.

Рис. 24 иллюстрирует понятие надежности контракта для модели с аддитивной помехой. Площадь заштрихованной фигуры численно равна надежности.

Можно сформулировать задачу максимизации надежности контракта. В одноэлементной системе эта задача заключается в выборе системы стимулирования, которая бы максимизировала надежность (9) с учетом (7). Оказывается, что при достаточно общих предположениях задача максимизации надежности эквивалентна задаче стимулирования. То есть для широкого класса проектов оптимальное решение задачи стимулирования (максимизация целевой

функции ПМ) максимизирует надежность (минимизирует риск) и наоборот. Для многоэлементных и динамических систем этот замечательный результат, в общем случае, не имеет места. Соотношение между решениями задачи стимулирования и задачей максимизации надежности в этом случае зависит от целевой функции (функции дохода ПМ), допустимой области значений, действий и результатов, распределений вероятности, критических значений и т.д.

Как отмечалось выше, действие y^* , а следовательно и надежность исполнителя, зависят от ограничения механизма стимулирования C . Действительно, чем больше платишь, тем меньше риск. Зная (из решения задачи стимулирования) зависимости $y_i^*(C_i)$, $i = \overline{1, n}$ в многоэлементной или динамической системе, можно решить задачу

распределения фонда заработной платы $C = \sum_{i=1}^n C_i$ между исполнителями с целью

максимизации надежности проекта: $Q = Q(q_1, \dots, q_n)$, зависящей от надежностей исполнителей. Конкретный пример решения такой задачи был приведен в разделе 2.1.3.

Таким образом, рассмотрев механизмы стимулирования в вероятностных системах, мы фактически «замкнули» теорию управления надежностью проекта. Из решения задачи стимулирования получается зависимость надежности отдельных исполнителей (или их коллективов) от различных ограничений. Эти зависимости используются при решении задач выбора вариантов (раздел 1.2.3), при формировании состава исполнителей (раздел 2.1.3) и в оперативном управлении (раздел 5.2).

Механизмы с сообщением информации

Как отмечалось выше, в случае, когда участники проекта асимметрично информированы, обмен информацией является одним из способов устранения неопределенности. В то же время, при использовании таких механизмов возникает проблема манипулируемости - проблема достоверности сообщаемой информации.

Характеристиками механизма функционирования организационной системы являются: его эффективность, согласованность (выполнение плана) и неманипулируемость (достоверность информации). Естественно, ПМ хотелось бы построить оптимальный механизм управления, то есть имеющий максимальную эффективность и обладающий свойствами согласованности и неманипулируемости. Является ли достижимым этот идеал, когда все работают эффективно, выполняют обязательства и ведут себя честно? Из практики мы знаем, что добиться этого очень тяжело, но в ряде случаев возможно. Анализ механизмов распределения ресурсов (глава 2) и механизмов активной экспертизы (глава 1) свидетельствует, что в некоторых классах задач для любого механизма всегда можно построить неманипулируемый механизм не меньшей эффективности. Из описания механизмов стимулирования (раздел 4.1) видно, что согласованные механизмы нередко оказываются оптимальными. Ниже мы продемонстрируем, что в ряде

случаев оптимальными являются так называемые правильные механизмы, то есть механизмы, являющиеся одновременно согласованными и неманипулируемыми.

Рассмотрим следующий пример. Пусть в проекте участвуют два исполнителя с функциями чистых доходов:

$$h_i(y_i, r_i) = y_i - \frac{1}{2r_i} y_i^2, \quad i = 1, 2, \quad (10)$$

где y_i - доход, $(1/2r_i)y_i^2$ - затраты; r_1, r_2 - не известные ПМ параметры, характеризующие, например, производственные возможности исполнителей. Если ПМ использует систему штрафов $\chi(x_i, y_i) \leq C_i, i = 1, 2$, то целевые функции исполнителей имеют вид:

$$f_i(x_i, y_i, r_i) = y_i - \frac{1}{2r_i} y_i^2 - c_i(x_i, y_i). \quad (11)$$

Обозначим $x_i^+ = r_i + \sqrt{2r_i C_i}, x_i^- = r_i - \sqrt{2r_i C_i}$. Легко показать, что, во-первых, планы, принадлежащие отрезку $[x_i^-, x_i^+]$ являются согласованными, то есть при некоторой системе стимулирования (например, С-типа или К-типа) исполнителю выгодно их выполнять. Во-вторых, ПМ не может побудить исполнителя выбрать действие, не принадлежащее этому отрезку. Значит система стимулирования С-типа является оптимальной для данной задачи и, более того, она является согласованной.

Если бы ПМ имел всю информацию об исполнителях, то задача была бы решена (см. раздел 4.1). Но параметры $\{r_i\}$ ему неизвестны, так как мы предположили, что возможности исполнителей известны только им самим. Допустим, что ПМ известно, что $r_i \in [0.1, 1]$. Он может использовать МГР, но это, наверное, неоправданно сильно снизит эффективность. Разумнее попросить исполнителей сообщить заявки S_1 и S_2 , то есть какие планы они хотели бы получить. Рассмотрим, может ли ПМ побудить исполнителей говорить правду.

Функции предпочтения исполнителей, отражающие степень «выгодности» для них тех или иных планов, равны

$$j_i(x_i, r_i) = \max_{y_i \in A_i} f_i(x_i, y_i, r_i) = \begin{cases} h_i(x_i, r_i), & x_i \in [x_i^-, x_i^+], \\ h_i(r_i, r_i) - C_i, & x_i \notin [x_i^-, x_i^+]. \end{cases} \quad i = 1, 2. \quad (12)$$

График функции (12) приведен на рисунке 25.

Положим $x_i = \pi_i(S)$, где $S = (S_1, S_2)$, $\pi_i(\cdot)$ - некоторая процедура планирования. Пусть $r_1 = 0.6, r_2 = 0.8$, а ПМ хочет обеспечить $x_1 + x_2 = 1.5$ - требование к суммарному выпуску продукции. Так как $r_1 + r_2 \neq 1.5$, то возникает задача манипулирования. Если ПМ использует принцип пропорционального распределения (см. главу 2) то $x_i = 1.5(S_i/S)$, где $S = S_1 + S_2$. При сообщении $S_1 = r_1, S_2 = r_2$ получим $x_1 = 9/14 < r_1, x_2 = 6/7 > r_2$.

Заметим, что мы получили задачу, аналогичную задаче распределения ресурса и можем использовать результаты, описанные в главе 2. Вычислим равновесные заявки ($S_i \in [0.1, 1], i = \overline{1, n}$): $S_1^* = 0.1, S_2^* = 4/35$. При этом $x_1^* = 0.7 > r_1, x_2^* \equiv r_2$.

Легко показать, что в прямом механизме (когда ПМ просит исполнителей сообщить оценки $\{r_i\}$) сообщение достоверной информации является равновесием Нэша для исполнителей, то есть механизм защищен от манипулирования. Зная оптимальные планы x_1^* , x_2^* , которые определены исходя из реальных возможностей исполнителей, найдем оптимальные значения ограничений механизма стимулирования. Подставляя $x_1^+ = x_1^*$, получим $C_1^* = (x_1^* - r_1)^2/2r_1 = 1/120$. Таким образом, C_1^* - минимальная величина штрафов, необходимая для того, чтобы побудить первого исполнителя выбрать действие x_1^* .

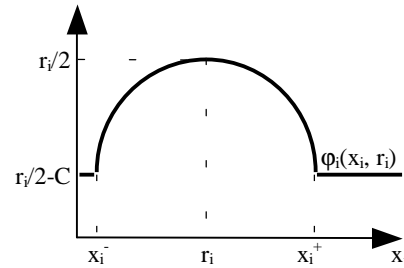


Рис. 25

Итак, мы построили механизм управления, обеспечивающий выполнение задачи ПМ ($x_1^* + x_2^* = 1.5$). Этот механизм является согласованным - исполнители выбирают действия, совпадающие с назначаемыми планами. Более того, механизм является неманипулируемым - сообщаемые исполнителями на этапе планирования оценки являются достоверными, и исполнители штрафуются по минимуму.

То есть мы доказали (конструктивно - путем построения), что в рассмотренном примере для любого механизма управления (планирования и стимулирования) существует соответствующий правильный механизм не меньшей эффективности. Этот вывод справедлив, естественно, не только для приведенного примера, но и для достаточно широкого класса организационных систем, в котором при поиске оптимального механизма управления можно ограничиться рассмотрением только правильных механизмов [6].

Механизмы с платой за информацию

Вернемся на некоторое время к рассмотрению модели с вероятностной неопределенностью. Выше мы отмечали, что ненаблюдаемость действий исполнителя для ПМ сильно «затрудняет жизнь» и приводит к снижению эффективности механизма стимулирования. Давайте разберемся, почему это так. Пусть в модели простого активного элемента (см. выше) функция дохода исполнителя линейна:

$$h(g) = A - kz, \quad (13)$$

где $A > 0$, $k > 0$ - некоторые константы, $z \geq 0$. Если ПМ использует функцию штрафов, ограниченную величиной C , то максимальное действие, которое он может побудить исполнителя выбрать при использовании оптимальной системы стимулирования К-типа, равно:

$$z^{\max} = C / k. \quad (14)$$

Если функция распределения результатов деятельности исполнителя $F(z)$ определяется функцией распределения $F(t) = t / (t+1)$, то ожидаемый доход исполнителя от выбора действия y равен:

$$h(y) = \int_0^{+\infty} h(z) p(z, y) dz = A - k \ln(1 + y). \quad (15)$$

Из условия $h(y^{\max}) = A - C$, определяем

$$y^{\max} = e^{C/k} - 1 \quad (16)$$

Сравнивая (14) и (16), получим $y^{\max} \geq z^{\max}$, причем равенство имеет место только при $C = 0$.

Содержательно y^{\max} означает максимальное действие, которое ПМ может побудить выбрать исполнителя, штрафую его за наблюдаемое действие y , то есть используя систему штрафов $\chi(y) \leq C$. Значит, если бы ПМ мог наблюдать действия исполнителей и платить не за результат, а за действие, то его возможности управления (а, следовательно, и эффективность управления) были бы больше.

Этот вывод вполне согласуется с представлением о том, что эффективность управления в условиях неопределенности не выше, чем эффективность управления в условиях полной информированности (в детерминированных системах).

Стимулирование непосредственно за действия исполнителя, зависящие только от него самого, представляется более справедливым чем стимулирование за результат, зависящий помимо действий еще и от внешних случайных факторов, неконтролируемых исполнителем.

Следовательно, возникает идея: давайте платить не за случайный результат, а непосредственно за действия исполнителей. Но для этого надо обладать информацией об этих действиях. На практике такая информация не всегда доступна для ПМ. Одним из путей ее получения является использование так называемых механизмов с платой за информацию. Если действия исполнителей первоначально ненаблюдаемы проектом - менеджером, то может быть имеет смысл пригласить третью сторону (аудиторскую фирму, создать службу мониторинга и т.д.), которая сообщит недостающую информацию.

Создание такой информационной структуры (привлечение специалистов, создание дополнительной службы контроля и т.д.) с одной стороны позволит получить информацию о действиях исполнителей, но с другой стороны потребует от ПМ дополнительных затрат. Если можно получить информацию «бесплатно», то, естественно, ее следует получить и использовать. Но если получение информации требует дополнительных затрат, то необходим более тонкий анализ, сравнивающий эти затраты с получаемым выигрышем.

Предположим, что ПМ имеет в своем распоряжении ФЗП и может, заплатив из этого фонда величину ΔC , получить точную информацию о действиях исполнителей. Понятно, что если величина ΔC достаточно мала, то следует использовать механизм с платой за информацию, если велика, то приходится платить за результат. Как найти разумную грань, определяющую области выгодного для ПМ использования того или иного механизма управления?

Наиболее простой способ - сравнить эффективности двух механизмов. При стимулировании по результату в рассматриваемом примере, имея ФЗП, ПМ побуждает исполнителя выбрать действие z^{\max} , определяемое выражением (14), то есть $z^{\max} = z^{\max}(C)$. Если часть ФЗП идет на оплату информации, то при стимулировании по действию у ПМ остается фонд $(C - \Delta C)$, то есть $y^{\max} = y^{\max}(C - \Delta C)$, ПМ может определить максимальную величину ΔC , при которой ему еще выгодно использовать механизм с платой за информацию. Для нашего примера ΔC^{\max} удовлетворяет уравнению:

$$\frac{C}{k} = e^{\frac{C - \Delta C^{\max}}{k}} - 1. \quad (17)$$

Значит, если $\Delta C \leq C - k \cdot \ln(C/k - 1) = \Delta C^{\max}$, то ПМ выгодно использовать механизм с платой за информацию. Если $\Delta C > \Delta C^{\max}$, то «плата слишком высока» и выгоднее стимулировать исполнителей за результат.

Многоканальные механизмы стимулирования

Использование многоканальной структуры системы является одним из способов устранения неопределенности. При рассмотрении многоканальных механизмов активной экспертизы (раздел 1.3.3.) был сделан вывод о том, что наличие нескольких параллельно действующих каналов позволяет повысить эффективность управления. Т.е. необходимо сравнивать результаты деятельности различных каналов - исполнителей и стимулировать их на основании этого сравнения. Рассмотрим некоторые модели механизмов стимулирования, использующих многоканальную структуру.

Во-первых, возможно непосредственное обобщение изложенных выше результатов по механизмам стимулирования с платой за информацию. Мы предполагали, что заплатив величину ΔC , ПМ узнает точное значение действия исполнителя. Иногда такое допущение является достаточно сильным, поэтому будем считать, что в общем случае ПМ получает некоторую, быть может неточную, информацию о действиях исполнителей. Точность и полнота этой информации, естественно, зависят от затрат на ее получение. Действительно, используя более совершенные системы контроля, ПМ может более точно «выделять» в результате деятельности исполнителя его вклад (действие) и внешние факторы.

Одним из путей получения дополнительной информации является использование нормативной модели. Под нормативной моделью понимается идеальная или материальная, как правило, реализованная на ЭВМ, модель управляемого объекта. Т.е. первым каналом является непосредственно

исполнитель, а вторым каналом - нормативная модель, имитирующая поведение исполнителя в конкретных условиях. Существенным является то, что модель функционирует в тех же условиях, что и исполнитель. Что же дает введение второго «исполнителя»?

Предположим, что в нормативную модель «заложена» целевая функция исполнителя. Тогда, наблюдая результат моделирования (поведение модели наблюдать легче, чем поведение реального исполнителя), ПМ может получить оценку действия, выбираемого исполнителем. Точность этой оценки, естественно, будет зависеть от адекватности модели, которую мы будем считать пропорциональной затратам на ее создание и обслуживание.

Если решение, предлагаемое нормативной моделью, оказывается более эффективным чем решение исполнителя, то ПМ может сделать вывод, что исполнитель либо схалтурил, либо оказался недостаточно компетентным. В этом случае исполнитель штрафуется, например, пропорционально разности эффективностей. Если решение исполнителя оказывается более эффективным, то корректируется модель.

Такое соревнование двух каналов, их взаимонаучение, может существенно повысить эффективность управления. Описание различных режимов работы каналов, обмена информацией, стимулирования и обучения, а также анализ опыта использования подобных механизмов в рамках производственных систем приведен в работах [2, 3].

Качество модели (точность оценки) зависит от затрат на создание второго канала. Стоит ли вообще использовать второй канал, а если стоит, то каково оптимальное значение точности предлагаемой им оценки? Для ответа на этот вопрос необходимо, как и при исследовании механизмов с платой за информацию, сравнить эффективности различных механизмов. При этом необходимо учитывать, что теперь нужно сравнивать не два механизма (со стимулированием за результат и со стимулированием за точно известное значение действия исполнителя), а целое их множество.

Рассмотрим следующий пример. Пусть в проекте с одним исполнителем - простым активным элементом, описанным выше, введен второй канал. Информацию, поступающую к ПМ из этого канала, представим в виде

$$\Delta = \left\{ y \in \left[\Delta^-(\Delta C), \Delta^+(\Delta C) \right] \right\}, \quad (18)$$

т.е. проект - менеджеру сообщается, что действие исполнителя лежит в диапазоне $[\Delta^-, \Delta^+]$, где размер диапазона (его границы) зависят от затрат на создание второго канала ΔC . Пусть разность $(\Delta^+(\Delta C) - \Delta^-(\Delta C))$ является убывающей функцией ΔC . При $\Delta C = 0$, $\Delta^- = 0$, $\Delta^+ = +\infty$, то есть сообщение (18) не несет никакой новой информации, при некотором $\Delta C = \Delta C^* : \Delta^- = \Delta^+$, то есть сообщается точная оценка деятельности исполнителя. Очевидно, что если $\Delta C \leq \Delta C^*$, где ΔC^* определяется в соответствии с (17), то вводить второй канал выгодно в любом случае. Однако максимум эффекта может достигаться не обязательно при достоверном значении выбранного исполнителем действия, то есть может существовать оптимальное ΔC^* , $0 \leq \Delta C^* \leq \Delta C^{\max}$, обеспечивающее

максимальное значение эффективности. Возьмем конкретные зависимости. Пусть $\Delta^-(\Delta C) = y - \delta^-(\Delta C)$, $\Delta^+(\Delta C) = y + \delta^+(\Delta C)$, где $\delta^-(0) = y$, $\delta^-(\Delta C) = 0$, $\delta^+(0) = +\infty$, $\delta^+(\Delta C) = 0$. Положим $\delta^-(\Delta C) = y(1 - \Delta C / \Delta C)$, $\delta^+(\Delta C) = \Delta C / \Delta C - 1$.

Если ПМ использует нижнюю границу оценки действия исполнителя и стимулирует за нее, то из условия

$$A - C + \Delta C = A - k \ln \left(1 + \frac{\Delta C}{\Delta C} y \right) \quad (19)$$

находим зависимость $y(\Delta C)$:

$$y(\Delta C) = \frac{\Delta C}{\Delta C} \left(e^{\frac{C - \Delta C}{k}} - 1 \right). \quad (20)$$

Отметим, что при $\Delta C = \Delta C$ (20) совпадает с предельным случаем (17). Выражение (20) определяет величину действия, которое ПМ может побудить выбрать исполнителя, используя второй канал. Оптимальное значение ΔC^* определяется из условия максимума (20). То есть, в рассмотренном примере слишком «медленная» зависимость $\Delta(\Delta C)$, и оптимум достигается при минимальных выплатах.

Помимо систем с нормативной моделью, идея многоканальности может быть использована в системах с несколькими исполнителями, функционирующими в одинаковых условиях. Если в проекте участвуют n исполнителей с функциями дохода $h_i(z_i) = A_i - k_i z_i$, $i = \overline{1, n}$, то величина $\Delta_{ij} = z_i^{\max} - z_j^{\max}$, где $z_i^{\max} = C/k_i$, $i, j = \overline{1, n}$, может использоваться как характеристика относительных возможностей i -го и j -го исполнителей, в том числе и в модели с аддитивной помехой $z_i = y_i + \Theta$, где Θ - одно и то же для всех исполнителей. Тогда разность $z_i - z_j = y_i - y_j$ несет информацию о действиях исполнителей, и точное знание действия хотя бы одного исполнителя позволяет по его результатам однозначно восстановить действия остальных исполнителей. При этом достаточно использовать механизм с платой за информацию только для одного исполнителя.

4.3 Децентрализованные механизмы стимулирования

В сложных проектах число исполнителей и связей между ними может оказаться настолько велико, что один ПМ может оказаться не в состоянии осуществлять координацию и управление деятельностью исполнителей. В этом случае обычно вводятся дополнительные органы управления - менеджеры подпроектов, то есть вводится промежуточный уровень иерархии в системе. Менеджеры подпроектов, как правило, более компетентны в области тех задач, которые решают их подчиненные, чем ПМ. Поэтому их привлечение к участию в проекте может повысить эффективность управления. С другой стороны, увеличение состава управленческого персонала требует дополнительных затрат, а чрезмерное его «раздувание» может привести к снижению эффективности - система может стать

неуправляемой. Ниже рассматривается ряд моделей, иллюстрирующих достоинства и недостатки децентрализации механизмов стимулирования. Мы остановимся на рассмотрении лишь механизмов стимулирования, хотя вопрос об оптимальной степени децентрализации управления является, несомненно, более широким (см., в частности, децентрализованные механизмы распределения ресурса в разделе 2.2.4).

Полностью централизованной системе управления проектом соответствует структура, приведенная на рисунке 26, при которой в проекте имеется n исполнителей и один ПМ.

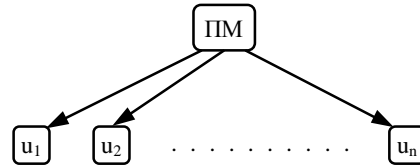


Рис. 26.

Предположим, что целевая функция i -го исполнителя имеет вид

$$f_i(y_i) = \sigma_i(y_i) - C_i(y_i), \quad (1)$$

где $0 \leq \sigma_i \leq C_i$, $C_i(y_i) = \alpha_i y_i$.

Если ПМ заинтересован в максимизации $\sum_{i=1}^n y_i^2$, то его целевая функция имеет

вид:

$$\Phi(y) = \sum_{i=1}^n y_i^2 - \sum_{i=1}^n S_i(y_i) \quad (2)$$

При ограниченном фонде стимулирования $\sum_{i=1}^n S_i(y_i) \leq C$ и полностью известных ПМ параметрах исполнителей в соответствии с результатами раздела

4.1 решение задачи стимулирования имеет вид (при $\sum_{i=1}^n a_i < C$):

$$C_i^* = C \frac{a_i^2}{\sum_{j=1}^n a_j^2}, \quad (3)$$

$$s_i^*(y_i) = \begin{cases} C_i, & y_i = \frac{C_i^*}{a_i} \\ 0, & y_i \neq \frac{C_i^*}{a_i} \end{cases} \quad (4)$$

Эффективность такого механизма (значение целевой функции ПМ) равна:

$$\Phi^* = \frac{C^2}{\sum_{j=1}^n a_j^2} - C. \quad (5)$$

Если ПМ известны параметры функции затрат исполнителей, то есть известны их производственные возможности, то структура типа приведенной на рисунке 26 достаточно эффективна, так как обеспечивает оптимальное стимулирование, приводящее к максимальной эффективности (5) (при этом, правда, мы «забываем», что если число исполнителей велико, то ПМ приходится перерабатывать значительные объемы информации).

Ситуация изменится, если ПМ не знает точных значений параметров элементов, то есть при наличии неопределенности. Предположим, что ПМ известно, что параметр затрат i -го исполнителя α_i лежит в пределах $[\alpha_i^-, \alpha_i^+]$. Если ПМ рассчитывает на наихудший случай, то используя МГР, он вынужден в задаче (1) - (2) подставить $\alpha_i = \alpha_i^+$. При этом ПМ фактически переплачивает исполнителям и эффективность механизма снижается:

$$\Phi_1 = \frac{C^2}{\sum_{j=1}^n (a_j^+)^2} - C. \quad (6)$$

Действительно, так как Φ^* - убывающая функция α_i , а $\alpha_i \leq \alpha_i^{\max}$, то $\Phi_1 \leq \Phi^*$. Значит при наличии неопределенности полностью централизованный механизм не эффективен (рассмотрите самостоятельно механизм с сообщением информации, в котором исполнители сообщают ПМ оценки параметров α_i и исследуйте его манипулируемость).

Рассмотрим теперь децентрализованный механизм, в котором имеются ПМ, N менеджеров подпроектов (ПМ₁, ПМ₂, ..., ПМ_N), каждый из которых руководит группой исполнителей. Структура такой системы приведена на рисунке 27. Пунктирной линией выделены границы одной из подсистем (ПМ_k и исполнители

$$u_1, \dots, u_{nk}, \sum_{k=1}^N n_k = n).$$

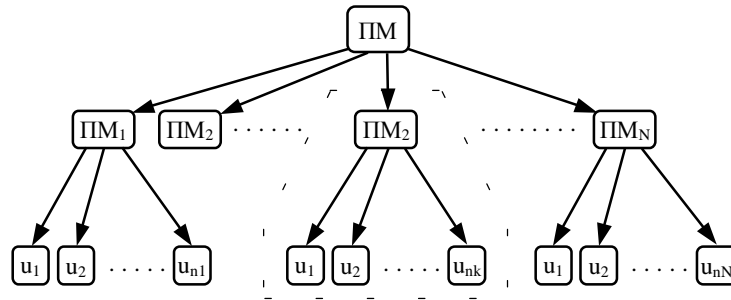


Рис. 27.

Обозначим $(\sigma^1, \dots, \sigma^N)$ - стимулирование менеджеров подпроектов со стороны ПМ ($\sigma^i \leq C^i$, $\sum_{i=1}^N C^i = C$); (s_1, \dots, s_{n_k}) - стимулирование исполнителей k-ой

группы со стороны ПМ_k ($\sigma_i \leq C_i$, $\sum_{i=1}^{n_k} C_i = C^k$), $k = \overline{1, N}$.

Тогда целевая функция ПМ имеет вид:

$$\Phi(y, s) = \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^{n_k} y_i^2 - \sum_{k=1}^N s^k, \quad (7)$$

целевая функция ПМ_k:

$$\Phi^k(y^k, s^k) = s^k(y^k) - \sum_{i=1}^{n_k} s_i(y_i), \quad k = \overline{1, N}, \quad (8)$$

где $y_k = (y_1, \dots, y_{n_k})$, а целевая функция i-го исполнителя (из группы k):

$$f_i(y_i, s_i) = s_i(y_i) - C_i(y_i), \quad i = \overline{1, n_k}, k = \overline{1, N}. \quad (9)$$

Таким образом, целевая функция i-го исполнителя по-прежнему равна разности стимулирования, получаемого от его начальника - ПМ_k, и затрат, то есть для исполнителей ничего не изменилось. Целевая функция ПМ_k равна разности стимулирования, получаемого от ПМ и затрат на стимулирование подчиненных ему исполнителей. И, наконец, целевая функция самого ПМ равна разности его дохода от деятельности всех исполнителей и затрат на стимулирование менеджеров подпроектов.

Предположим, что и ПМ, и все ПМ_k, $k = \overline{1, N}$, знают параметры $\{a_i\}_{i=1}^n$.

Тогда, если $\sigma_k(y_k) = \sum_{i=1}^{n_k} s_i(y_i)$, то задача (7) - (9) эквивалентна задаче (1) - (2). При

этом менеджеры подпроектов играют роль передающего звена (значение их целевой функции равно нулю), лишь разгружая ПМ в смысле обработки информации (докажите самостоятельно, что эффективность такого механизма равна Φ^*). Если же доходы ПМ_k ($k = \overline{1, n}$), получаемые от ПМ больше затрат на стимулирование подчиненных ему исполнителей (а иначе зачем ему участвовать в проекте), то, очевидно, эффективность детерминированного механизма будет ниже Φ^* . Таким образом, без учета эффекта агрегирования информации в условиях полной информированности децентрализация механизма стимулирования не приводит к повышению эффективности управления.

Предположим теперь, что ПМ неизвестны точные значения параметров затрат исполнителей. Пусть ему известен, как и предполагалось выше, только диапазон $[\alpha_i^-, \alpha_i^+]$, $i = \overline{1, n}$. В общем случае менеджеры подпроектов, являясь квалифицированными специалистами в своей области, информированы о своих подчиненных лучше, чем ПМ. То есть предположим, что ПМ_k известен диапазон значений α_i : $[b_i^-, b_i^+]$, где $b_i^- \geq \alpha_i^-$; $b_i^+ \leq \alpha_i^+$, $i = \overline{1, n_k}$, $k = \overline{1, N}$.

Как следует из анализа задачи (1) - (2), в этом случае ПМ_k может управлять своими подчиненными более эффективно чем непосредственно сам ПМ. Фиксируем стимулирование ПМ_k (его зарплата) - q_k , $k = \overline{1, N}$. Тогда оптимальное решение и эффективность механизма (при использовании менеджерами подпроектов принципа МГР) соответственно, равны

$$C^k = (C - Q) \frac{\sum_{j=1}^{n_k} (a_j^+)^2}{\sum_{i=1}^n (a_i^+)^2}, \quad (10)$$

$$\Phi_2 = (C - Q)^2 \frac{1}{\sum_{j=1}^n (a_j^+)^2} - C, \quad (11)$$

где $Q = \sum_{i=1}^N q_i$ - суммарное индивидуальное стимулирование менеджеров подпроектов.

Сравнение Φ_2 (11) и Φ_1 (6) позволяет сделать вывод о том, когда целесообразно использовать децентрализованные механизмы. Видно, что обладание

дополнительной информацией об исполнителях ($b_j^+ \leq \alpha_j^+$) «увеличивает» эффективность (11) по сравнению с (6). В то же время, введение органов управления

ПМ₁, ... , ПМ_N требует затрат Q, что «снижает» эффективность. Из (11) и (6) можно получить максимальное значение Q, при котором использование децентрализованных механизмов выгодно для ПМ.

Отметим, что, во-первых, мы сделали достаточно сильное предположение о независимости зарплаты менеджеров подпроектов от результатов деятельности исполнителей. Если использовать конкретные зависимости $q_k(y^k)$, то процедура вычисления оптимальной оценки Q несколько усложнится.

Во-вторых, необходимо подчеркнуть сходство между децентрализованными механизмами стимулирования и механизмами с платой за информацию, рассмотренными в предыдущем разделе. Мы сделали вывод, что децентрализация без учета агрегирования информации имеет смысл в условиях неопределенности. Величина q_k может рассматриваться как плата ПМ за дополнительную информацию о параметрах исполнителей.

Для иллюстрации этого утверждения рассмотрим следующий пример. Пусть исполнители работают в условиях вероятностной неопределенности и имеют линейные функции затрат. Тогда, не имея возможности наблюдать действия исполнителей, то есть, стимулируя за результат при фиксированных ограничениях механизма стимулирования $C = (C_1, \dots, C_n)$, ПМ может побудить исполнителей выбрать как максимум

$$z_i^{\max} = C_i/k_i, \quad (12)$$

(см. (13)-(16) из раздела 4.2). Если объединить исполнителей в группы, работающие в одинаковых условиях, то получение информации о состоянии природы $\Theta_k, k=1, \bar{N}$, эквивалентно наблюдению действий исполнителей (так как действие восстанавливается по наблюдаемому результату и реализации случайного параметра). Если при использовании децентрализованной системы стимулирования (рисунок 27) менеджер каждого подпроекта наблюдает соответствующее состояние природы и сообщает его за плату q_k ПМ, то получаем механизм с платой за информацию. Наблюдая действие y_i i-го исполнителя, ПМ (или ПМ_k) может побудить его выбрать действие

$$y_i^{\max} = e^{\frac{C_i - (q_k/n_k)}{k_i}} - 1. \quad (13)$$

При получении (13) мы предположили, что фонд стимулирования i-го исполнителя, принадлежащего k-й группе, уменьшился на q_k/n_k , то есть плата k-му менеджеру подпроекта была разделена поровну между исполнителями k-ой группы.

Сравнивая $\sum_{i=1}^n (z_i^{\max})^2$ и $\sum_{i=1}^n \left[e^{\frac{C_i - (q_k/n_k)}{k_i}} - 1 \right]^2$, можно получить ограничения на

$\{q_k\}_{k=1}^N$, при которых использование механизма с платой за информацию (децентрализованного механизма стимулирования) выгодно для ПМ.

В заключение данного раздела отметим, что задачу децентрализации можно рассматривать в более общем виде. В структуре системы, представленной на рисунке 27, фиксированы вертикальные связи между элементами. Можно рассмотреть следующую задачу о назначении (см. раздел 2.1). Пусть, например, каждый из менеджеров подпроектов имеет большую, чем ПМ, информацию об исполнителях. Кто-то из них знает больше (и может, следовательно, лучше управлять) об одних исполнителях, кто-то - о других. Перед ПМ встает задача выбора структуры системы управления (задача формирования состава исполнителей): как наилучшим образом разбить исполнителей на группы и кого из менеджеров подпроектов поставить во главе каждой группы исполнителей. Описание методов решения этой задачи выходит за рамки настоящей работы (см. [1, 8]).

Глава 5 МЕХАНИЗМЫ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ

В предыдущих главах настоящей работы при рассмотрении механизмов управления проектами практически не рассматривалась динамика реализации проекта по времени. Действительно, решая задачу синтеза того или иного механизма, мы неявно предполагали, что механизм «включается» в момент начала выполнения проекта и однозначно определяет результаты деятельности всех исполнителей и результат всего проекта в целом. Такое одношаговое описание проекта адекватно многим реальным ситуациям, однако, далеко не всем из них. Рассмотрим, в каком случае статическая модель проекта является достаточной (с точки зрения точности и эффективности).

Если перед началом проекта и ПМ, и исполнители имеют достаточно полное и точное представление обо всех параметрах самого проекта и параметрах внешней среды, существенно влияющих на результат реализации проекта, то все возможные ситуации могут быть учтены при синтезе механизма управления на начальном этапе. Такой механизм может оказаться достаточно громоздким (так как он должен учитывать значительное число факторов), однако, принципиально, ничто не препятствует его созданию.

На практике ситуации, в которых априори имеется полная информация о будущих значениях существенных параметров, встречаются достаточно редко. Зачастую имеется большая неопределенность относительно результатов реализации проекта. Понятно, что со временем эта неопределенность будет уменьшаться за счет поступления новой информации, идентификации параметров, наблюдений за ходом реализации проекта и т.д. В этом случае создавать механизм управления, который изначально учитывал бы всю неопределенность и давал универсальные рецепты на все случаи жизни, неэффективно, а порой просто нереально. Поэтому возникает необходимость рассмотрения динамики реализации проекта.

Наиболее простым обобщением рассмотренных выше статических моделей на динамический случай является следующее рассуждение. Пусть процесс реализации проекта разбит на $t = \overline{1, T}$ периодов. В каждом отдельно взятом периоде ПМ необходимо решать задачи распределения ресурса, синтезировать механизмы финансирования, стимулирования и т.д. Решать эти задачи для статических моделей (одного периода) мы умеем (см. главы 1 - 4), поэтому необходимо просто решить T задач - каждую для своего периода. Такая модель называется квазидинамической (или моделью с несвязанными периодами функционирования). Квазидинамические модели позволяют описывать динамику процесса, но при их использовании некоторые эффекты, связанные именно с динамикой, могут быть потеряны (см., например, [2, 5, 8]). Поэтому иногда более адекватными являются динамические модели, в которых задачи, решаемые в каждом периоде, связаны между собой.

Следует признать, что, во-первых, динамические модели являются несравненно более сложными (с точки зрения проблем синтеза, вычислительной сложности,

анализа решений и т.д.), чем статические (см., например, раздел 4.2). Во-вторых, модели, достаточно полно учитывающие динамику, исследованы гораздо менее глубоко, чем статические модели. Результаты исследования некоторых динамических АС приведены в работах [3, 5, 7]. Авторы не ставили перед собой задачу описать обобщение всех рассмотренных в главах 1 - 4 моделей на динамический случай, поэтому ниже рассматриваются лишь несколько часто встречающихся на практике случаев.

5.1. Пересоглашение контрактов

В главе 4 были рассмотрены модели контрактных механизмов в статических АС. Рассмотрим динамическую модель. Пусть система (проект) функционирует в течение T периодов. Квазидинамической модели соответствует набор из T несвязанных статических задач стимулирования. Для создания динамической модели необходимо «связать» периоды функционирования. Напомним, что в статической вероятностной задаче стимулирования (см. раздел 4.2) результат деятельности исполнителя зависит от его собственных действий и от случайной величины - состояния природы. Если предположить, что в каждом периоде $t = \overline{1, T}$ результат деятельности зависит от выбранного исполнителем в этом периоде действия, реализовавшегося в этом периоде состояния природы и результата деятельности исполнителя в предыдущем периоде (действительно, то, что мы получаем сегодня зависит от того, что мы добились вчера), то получим динамическую модель со связанными периодами функционирования. Связь появляется в силу зависимости текущего результата деятельности от результата деятельности предыдущего периода. Методы поиска оптимального решения для этой модели описаны в [6].

Достаточно важным является вопрос о том, что понимать под целевыми функциями ПМ и исполнителей в динамической модели, и как они связаны со значениями целевых функций в отдельных периодах. Зависимость эта может быть достаточно сложной, но, как правило, ее возможно описать следующим образом. Пусть f_t - значение целевой функции исполнителя в периоде t ($t = \overline{1, T}$). Сегодняшняя оценка будущих полезностей зависит от того, когда эти полезности будут получены. Обычно, вводя дисконтирующий множитель $\delta \in (0, 1]$, используют аддитивную по периодам (взвешенную) полезность вида:

$$f = \sum_{t=1}^T \delta^{t-1} f_t. \quad (1)$$

Возникает закономерный вопрос, дает ли что-то, кроме вычислительных и других трудностей, использование динамических моделей? Иными словами, позволяет ли рассмотрение динамики повысить эффективность управления проектом, если периоды не связаны между собой? Ответ таков: при грамотном построении и использовании динамических моделей эффективность управления проектом увеличивается. Поясним последнее утверждение. Для динамических

моделей теории контрактов, в частности, доказан следующий результат. Как правило, в статических моделях решение задачи стимулирования хотя и является равновесием Нэша, но не эффективно по Парето [6]. В динамических задачах (при выполнении ряда условий, в частности - на информированность участников и на дисконтирующие множители) может быть достигнуто любое Парето-оптимальное решение соответствующей однопериодной задачи. Этот эффект имеет простую содержательную интерпретацию. Равновесие Нэша - это такой набор стратегий игроков (действий участников проекта), от которого никому из них не выгодно отклоняться поодиночке. Например, если целевая функция игроков имеет вид:

$$f_i = s_i + \sum_{j \neq i} (1 - s_j),$$

где $s_i \in [0, 1]$ - стратегия i -го игрока, $i = \overline{1, n}$, то выбор каждым игроком стратегии $s_i = 1, i = \overline{1, n}$ является равновесием Нэша. Действительно, выбирая любую другую стратегию $s_i < 1$, i -ый игрок только уменьшает значение своей целевой функции при условии, что другие игроки сообщают $s_j = 1, j = 1, 2, \dots, i-1, i+1, \dots, n$. В то же время понятно, что сообщение всеми игроками $s_i = 0, i = \overline{1, n}$ более выгодно, так как принесет им полезность $f_i = n - 1 \geq f_i = 1, i = \overline{1, n}$, большую, чем в равновесии Нэша, если $n > 2$. Такой набор полезностей игроков, при котором ни один из них не может увеличить собственный выигрыш, не уменьшив выигрышей остальных, называется равновесием по Парето. Например f - равновесие по Парето для рассматриваемого примера.

Спрашивается, а почему игроки не выберут точку f , если она для всех более выгодна, чем равновесие Нэша \tilde{f} ? Все дело в том, что равновесие по Парето, как правило, не является равновесием Нэша, то есть не устойчиво к индивидуальным отклонениям игроков. Пусть все игроки выбрали $s_i = 1, i = \overline{1, n}$. Тогда, например, первый игрок может сказать: «А выберу-ка я s_1 , чем увеличу на 1 свою полезность». Отметим, что при этом на единицу уменьшатся полезности всех остальных игроков, которые, видя это, подумают: «А чем мы хуже?», и увеличат свои стратегии до \tilde{s}_1 . В результате все окажутся в невыгодном ни для кого равновесии Нэша.

Возникает вопрос: что делать, ведь существует альтернатива, лучшая для всех, но она недостижима. К сожалению, в статической модели эта альтернатива, действительно, недостижима. Но она достижима (или почти достижима) при многократном повторении описанной игры. Основная идея заключается в том, что игрока, отклонившегося от Парето-оптимальной точки, надо наказывать. В динамике это могут сделать остальные игроки, выбрав соответствующие стратегии в периодах, следующих за периодом, в котором произошло отклонение. Наличие динамики дает возможность «воспитывать» игроков, побуждая их выбирать коллективно-оптимальные стратегии.

Останавливаться более подробно на описании динамических задач теории контрактов мы не будем и перейдем к изучению механизмов пересоглашения контрактов.

Представим себе следующую ситуацию. Работодатель (ПМ) и работник (исполнитель) в некоторый момент времени заключили контракт (долгосрочный или краткосрочный), в котором оговорено вознаграждение работника в зависимости от результатов его деятельности. При разработке контракта ПМ и исполнитель использовали и учитывали имеющуюся у них на тот момент информацию. Предположим, что контракт заключен, и реализация проекта началась. Если в некоторый момент до окончания проекта ПМ и исполнитель (или кто-либо один из них) получает дополнительную информацию о существенных параметрах, то не исключено, что с учетом новой информации старый контракт будет неэффективен (невыгоден ни одной из сторон). В этом случае стороны могут пожелать пересмотреть условия контракта, то есть заключить новый контракт. Модели, в которых учитывается и исследуется возможность и эффективность такого перезаключения, получили названия моделей пересоглашения контрактов. Перейдем к их формальному описанию.

Примем, что пересоглашение контракта происходит в том, и только в том случае, если каждому из участников системы (ПМ и всем исполнителям) новый контракт обеспечивает не меньшие значения полезностей (целевых функций), чем старый контракт. Иначе говоря, каждый из участников обладает правом вето: если при новом контракте он получает полезность строго меньше, чем при старом, то он имеет право заблокировать пересоглашение, и старый контракт остается в силе. Отметим, что так как ПМ выражает интересы системы в целом (эффективность управления определяется через его целевую функцию - см. главу 1), то приведенное выше условие пересоглашения означает следующее: если пересоглашение произошло, то эффективность управления возросла (не уменьшилась). Таким образом, задача исследования условий пересоглашения контракта свелась к задаче определения условий того, что с учетом вновь поступившей информации возможно синтезировать контракт, обеспечивающий всем участникам проекта не меньшие полезности. Прежде чем перейти к рассмотрению конкретных моделей, исследуем, как влияет неопределенность на эффективность управления.

Рассмотрим детерминированную задачу стимулирования (см. разделы 1.1, 1.2, 4.1), в которой функция дохода исполнителя $h(y) = A - ky$, где $y \in R_+^1$, A, k - некоторые положительные константы. Величина штрафов ограничена сверху положительной константой C . Очевидно, в этом случае множество согласованных планов равно $[0, x^{\max}]$ (см. рис. 28), где $x^{\max} = C/k$. Пусть теперь в вероятностной АС (см. раздел 4.2) функция дохода исполнителя такая же, что и в детерминированной, а ПМ может использовать штрафы, зависящие только от результата деятельности исполнителя и ограниченные той же константой C . Пусть результат деятельности исполнителя с равной вероятностью находится в любой точке Δ -окрестности действия y , то есть $p(z, y)$ - равномерное распределение. Тогда

легко видеть, что если $k \leq C/2\Delta$, $\Delta < x_{\max}$, то множество согласованных планов равно $[0, \tilde{x}_{\max}]$, где $\tilde{x}_{\max} = x_{\max} - \Delta$. Отметим, что при назначении плана x_{\max} исполнитель выберет действие x_{\max} , то есть в вероятностных задачах понятия согласованного плана и реализуемого действия различаются. Значит в вероятностной задаче максимальное множество согласованных планов (если $k > C/2\Delta$, то это множество состоит из единственной точки - 0) уже (не шире), чем множество согласованных планов соответствующей детерминированной задачи. Отметим, что этот важный вывод справедлив не только для рассматриваемого примера, но и для произвольной вероятностной АС. Так как эффективность управления (стимулирования) определяется как максимальное значение целевой функции ПМ на множестве согласованных планов, значит эффективность стимулирования в вероятностной АС не выше эффективности стимулирования в соответствующей детерминированной системе.

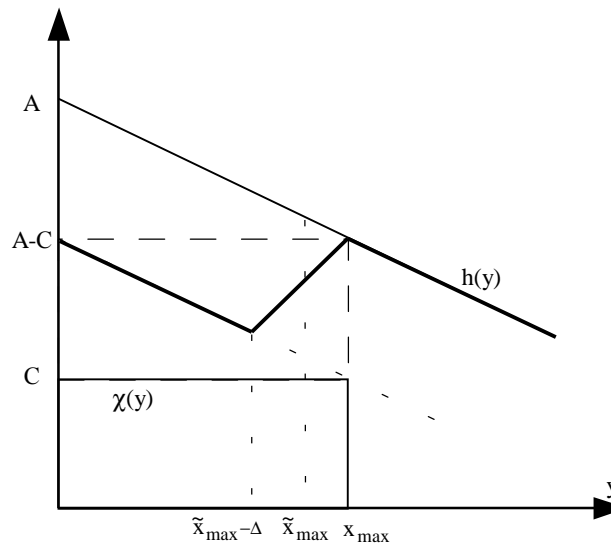


Рис. 28.

Исследуем теперь, как величина вероятностной неопределенности влияет на эффективность стимулирования. Для этого необходимо сначала определить, что понимать под «величиной неопределенности». Общепринятой мерой неопределенности является энтропия:

$$H(y) = - \int_{A_0} p(z, y) \ln p(z, y) dz, \quad y \in A, \quad (2)$$

однако ее использование в нашем анализе неконструктивно. Поэтому попытаемся определить «меру неопределенности» с учетом специфики рассматриваемой задачи. Пусть имеются две вероятностные АС, различающиеся, единственно, интегральными функциями распределения $F_1(z, y)$ и $F_2(z, y)$ результатов деятельности исполнителей. Результат деятельности - случайная величина, среднее значение которой совпадает с действием исполнителя. Интуитивно понятно, что в системе с меньшей неопределенностью результат деятельности должен принадлежать заданной окрестности действия с большей вероятностью. Если это свойство имеет место для произвольной окрестности, то будем говорить, что первая система характеризуется меньшей неопределенностью и обозначать $F_1 \supseteq F_2$. Формально $F_1 \supseteq F_2$ если $\forall y \in A, \forall \Delta \geq 0$

$$F_1(y+\Delta) - F_1(y-\Delta) \geq F_2(y+\Delta) - F_2(y-\Delta) \quad (3)$$

Критерий (3) согласован с энтропийным определением неопределенности результатов деятельности, то есть если $F_1 \supseteq F_2$, то $\forall y \in A, H_1(y) \leq H_2(y)$. Легко видеть, что если первая АС является детерминированной, то она имеет меньшую неопределенность (по критерию (3), а следовательно и по (2)), чем любая вероятностная АС.

Справедлив следующий результат: если $F_1 \supseteq F_2$, то эффективность стимулирования во второй АС не выше, чем в первой. Для рассматриваемого примера $\bar{x}_{\max} = x_{\max} - \Delta$. Если $\Delta_1 \leq \Delta_2$, то $F_1 \supseteq F_2$ и $\bar{x}_{\max_1} \geq \bar{x}_{\max_2}$ (см. рисунок 29).

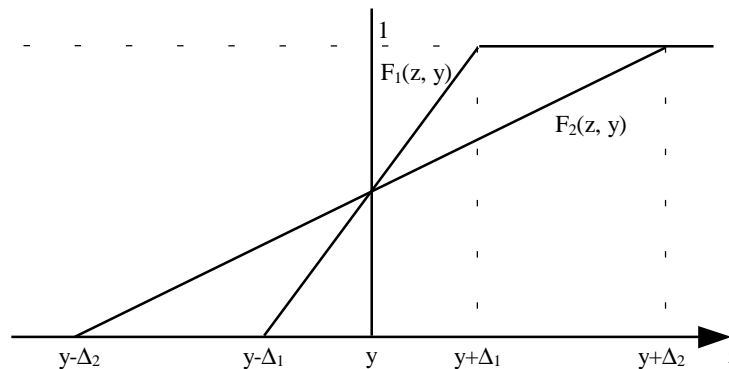


Рис. 29.

Полученный результат представляется достаточно логичным и соответствующим здравому смыслу. Действительно, с ростом неопределенности эффективность управления должна снижаться. Вернемся к изучению механизмов пересоглашения.

Пусть ПМ и исполнитель заключили контракт $\{\chi_1, y_1\}$, основываясь на информации $F_1(z, y)$ о результатах деятельности исполнителя, где $\chi_1(z)$ - функция

штрафов, y_1 - действие, которое выбирает исполнитель. Предположим, что до того, как исполнитель выбрал действие, поступила дополнительная информация $F_2 \supset F_1$ о распределении вероятностей результатов, причем (напомним, что исполнитель выбирает действие, не зная реализации состояния природы - см. раздел 4.2). Как отмечалось выше, эффективность стимулирования с учетом информации F_2 не ниже, чем с учетом использования информации F_1 . Будут ли ПМ и исполнитель пересматривать условия контракта, то есть, согласятся ли они оба следовать новому контракту $\{\chi_2, y_2\}$, оптимальному при распределении $F_2(z, y)$?

В литературе по теории контрактов различают контракты с обязательствами и контракты без обязательств. В первом случае, если кто-либо из участников АС нарушает условия контракта, то на него накладываются достаточно сильные штрафы (сильные настолько, что нарушение становится невыгодным). Поэтому в контрактах с обязательствами при рассмотрении механизмов пересоглашения необходимо сравнивать две ситуации - когда ПМ и исполнители следуют условиям первоначального контракта и когда они (оба!) следуют условиям нового контракта. В контрактах без обязательств участники проекта могут нарушать условия первоначального контракта, выбирая стратегии, которые являются оптимальными с учетом вновь поступившей информации. Ниже мы ограничимся рассмотрением контрактов с обязательствами.

Казалось бы, неопределенность стала меньше, потенциальная эффективность стимулирования возросла (или, по крайней мере, не уменьшилась) и целесообразно «переключиться» на новый контракт. Все это так. Но вспомним, что для пересоглашения необходимо согласие обеих сторон, участвующих в контракте (ПМ и исполнитель). Для ПМ пересоглашение выгодно, так как расширяется множество согласованных планов и возрастает эффективность стимулирования. Выгодно ли пересоглашение исполнителю? Этот вопрос требует детального исследования.

Известно, что в вероятностных задачах стимулирования оптимальное решение (в предположении, что ПМ заинтересован в том, чтобы исполнитель выбирал как можно большие действия) характеризуется тем, что максимум целевой функции исполнителя достигается в нескольких (как правило, в двух) точках. В силу гипотезы благожелательности, исполнитель выбирает действие, наиболее выгодное для центра. Обозначим h_{\max} - максимальное значение функции дохода исполнителя. Тогда, если y_1 - действие, выбираемое исполнителем, то $f(y_1) \geq h_{\max} - C$. При использовании второго контракта максимальное значение целевой функции исполнителя достигается в точке y_2 , также удовлетворяющей $f(y_2) \geq h_{\max} - C$. Предположим, например, что ПМ и исполнитель получили достоверную информацию о будущем значении состояния природы, то есть, система стала детерминированной. Тогда, как было показано выше, эффективность стимулирования возрастет. Но в детерминированной системе $f(y_2) = h_{\max} - C$. Если в исходной системе с неопределенностью $f(y_1) > h_{\max} - C$, то $f(y_1) > f(y_2)$ и перезаключение контракта невыгодно исполнителю. Условие $f(y_1) > h_{\max} - C$ имеет, в частности, место если $p(z, y) > 0, \forall z \in A_0, \forall y \in A$, то есть когда неопределенность достаточно высока.

Таким образом, можно сделать следующий важный качественный вывод. В вероятностных АС при поступлении дополнительной информации $F_2 \ni F_1$ пересоглашение контракта всегда выгодно ПМ и, в случае «небольшой» исходной неопределенности, выгодно исполнителю. Если же $F_1 \ni F_2$, то пересоглашение всегда выгодно исполнителю и может быть невыгодно ПМ.

Рассмотрим другую модель пересоглашения. Пусть исполнитель имеет возможность сообщить ПМ информацию о том действии, которое он выбрал, при условии, что ПМ будет стимулировать его именно за это действие, а не за результат деятельности. Такого рода механизмы близки к механизмам с платой за информацию (см. главу 4). Итак, пусть $\{\chi_1(z), y_1\}$ - исходный контракт и пусть $f(y_1) = h_{\max} - C$. Альтернативой является второй контракт $\{\chi_2(S), y_2\}$, где S - сообщение исполнителя о своем действии. Если предположить, что исполнитель честен и сообщает свое истинное действие $S = y_2$, то используя, например, компенсаторную систему штрафов (см. раздел 4.1), ПМ может побудить его выбрать действие $y_2 = y_1$ с меньшими затратами на стимулирование, то есть множество согласованных планов расширится и эффективность стимулирования возрастет (ПМ увеличивает значение своей целевой функции, а исполнитель получает в точности ту же полезность, что и в исходном контракте).

К сожалению, предположение о том, что исполнитель будет честно сообщать ПМ о том, какое действие он выбрал, является достаточно сильным и, как правило, необоснованным. При использовании исследуемого механизма манипулирование информацией выгодно для исполнителя. Действительно, пусть ПМ во втором контракте использует слабо компенсаторную систему стимулирования. Легко видеть, что в этом случае исполнителю выгодно выбрать действие, максимизирующее доход, и сообщить, что он выбрал действие, минимизирующее штрафы (очевидно, в общем случае эти два действия не совпадают). Таким образом, предложенный механизм является манипулируемым, а с учетом манипулирования перезаключение контракта невыгодно для центра.

Выше предполагалось, что и ПМ, и исполнитель имеют одинаковую информацию о неопределенном параметре - состоянии природы. Пусть после заключения начального контракта исполнитель узнает точное значение будущей реализации состояния природы. Для ПМ эта информация недоступна. Может ли ПМ сконструировать механизм пересоглашения, имеющий эффективность, большую, чем исходный? Из анализа предыдущего механизма с сообщением исполнителем информации можно сделать вывод, что если в системе имеется единственный исполнитель, то этот механизм будет манипулируемым. Если состояние природы в конце концов становится известно ПМ, то целесообразно использовать механизм гибкого планирования [6].

Ситуация меняется, если имеются несколько исполнителей, результаты деятельности которых зависят от состояния природы. Оказывается, что пересоглашение в этом случае целесообразно, так как оно позволяет повысить эффективность стимулирования. Рассмотрим следующий пример.

Пусть имеется n исполнителей с функциями дохода $h_i(y^*) = A_i - k_i y_i$, а соответствующие функции штрафов ограничены константами C_i . Целевая функция

ПМ имеет вид $\sum_{i=1}^n a_i y_i$, где $a_i \geq 0$, $i = \overline{1, n}$. В системе присутствует общая для всех

исполнителей неопределенность, такая, что результат деятельности i -го исполнителя равномерно распределен в Δ -окрестности его действия и $z_i = y_i + \Theta$, $i = \overline{1, n}$, где Θ - состояние природы. Основная идея рассматриваемого ниже класса механизмов заключается в том, что если каждый исполнитель сообщает ПМ оценку Θ_i состояния природы, то, так как состояние природы одинаково для всех исполнителей, сравнивая $\{\Theta_i\}$ и результаты деятельности $\{z_i\}$, ПМ имеет возможность извлечь некоторую информацию об истинном состоянии природы (см. также многоканальные механизмы - разделы 1.3.3 и 4.2).

Можно показать, что оптимальным является механизм, в котором ПМ выделяет одного исполнителя и, принимая сообщенную им оценку состояния природы за истинную, не штрафует его вообще. Сообщения остальных исполнителей не используются. Понятно, что такой механизм является неманипулируемым: для выбранного исполнителя (которого мы в дальнейшем будем называть диктатором) стимулирование (тождественно равно нулю) не зависит от его сообщения, а остальные исполнители могут сообщать что угодно, так как их целевая функция не зависит от их сообщений. Значит, в силу гипотезы благожелательности все исполнители сообщают правду.

Описанный выше принцип построения неманипулируемого механизма является достаточно общим, то есть справедлив не только для рассматриваемого примера. Итак, мы знаем вид оптимального механизма. Осталось выяснить, во-первых, кого лучше назначить диктатором, и, во-вторых, выгодно ли пересоглашение всем участникам проекта.

Для ответа на первый вопрос вычислим n величин q_k , $k = \overline{1, n}$, где $q_k =$

$$\sum_{i \neq k} a_i \cdot C_i / k_i \quad (\text{k-ый исполнитель-диктатор выберет в отсутствие стимулирования}$$

$y_k^* \equiv 0$ - точку максимума своего дохода, а остальные исполнители выберут действия $y_i^* = C_i / k_i$, $i \neq k$, соответствующие оптимальному решению детерминированной задачи). Если ПМ получает от диктатора достоверную информацию о состоянии природы, то, наблюдая результаты деятельности $\{z_i\}_{i \neq k}$ остальных исполнителей, он вычисляет $y_i = z_i - \Theta$ и стимулирует их за действия, а не за результаты, что соответствует решению детерминированной задачи.

Далее, перебором по $k = \overline{1, n}$ выбираем номер k^* , для которого значение q_k максимально. Исполнитель с номером k^* назначается диктатором. Итак, ответ на первый вопрос получен.

Иследуем теперь, выгодно ли пересоглашение контракта участникам проекта.

Пусть

$$\Delta < \max_{i = \overline{1, n}} \frac{C_i}{k_i}. \quad (4)$$

Тогда $f_i(0) = A_i - C_i$. При использовании первоначального контракта, i -ый исполнитель получает полезность $f_i^1 = A_i - C_i$, $i = \overline{1, n}$, а ПМ:

$$\Phi_1 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{C_i}{k_i} - \Delta \right) a_i.$$

При использовании механизма с пересоглашением

исполнители получают полезности:

$$f_i^2 = A_i - C_i, \quad i \neq k, \quad f_k^2 = A_i,$$

а ПМ:

$$\Phi_2 = \sum_{i \neq k} a_i \frac{C_i}{k_i}.$$

Итак, $f_i^2 \geq f_i^1$, $i = \overline{1, n}$, то есть пересоглашение выгодно для всех исполнителей. Сравнивая Φ_2 и Φ_1 , получим, что если

$$\Delta \sum_{i=1}^n a_i \geq \frac{C_k}{k_k}, \quad (5)$$

то пересоглашение выгодно и для ПМ.

Таким образом, мы рассмотрели ряд механизмов пересоглашения контрактов. Полученные результаты свидетельствуют, что если пересоглашение возможно (смотри определение), то следует пересматривать условия контракта. Анализ показывает, что пересоглашение эффективно в широком классе АС, поэтому его использование на практике оправдано и целесообразно. В то же время ПМ следует иметь в виду, что, как свидетельствуют приводимые выше примеры, встречаются случаи, в которых «насиловательное» пересоглашение может снизить эффективность управления.

5.2. Механизмы оперативного управления риском

В разделе 2.1.3 настоящей работы была определена надежность проекта и предложены методы ее повышения. Связь надежности проекта в целом с характеристиками надежности исполнителей обсуждалась также в разделе 4.2 при рассмотрении механизмов стимулирования в условиях вероятностной неопределенности. При этом решалась задача выбора механизмов управления, максимизирующих надежность проекта (см. взаимосвязь надежности, качества и затрат в разделах 1.1.3 и 1.2.3) и предполагалось, что изначально выбирается механизм на весь срок реализации проекта (см. раздел 5.1), то есть не учитывались динамические свойства исследуемой системы. Однако, если процесс реализации проекта занимает достаточно длительное время, не исключено, что по мере выполнения части работ (получения новой информации) возникнет необходимость корректировки используемого механизма управления. Ниже рассматривается ряд примеров, в которых оперативное реагирование на изменения в ходе работ и

отклонения от прогнозируемого и планируемого развития позволяют повысить надежность проекта, то есть снизить риск его невыполнения.

Пусть в проекте принимают участие $n > 1$ исполнителей, деятельность которых происходит в условиях вероятностной неопределенности. Решая задачу синтеза оптимальной функции стимулирования (раздел 4.2), ПМ может прогнозировать действия $\{y_i\}$, выбираемые исполнителями. При известных распределения вероятностей результатов деятельности можно определить надежность $q_i(C_i)$ i -го исполнителя, где C_i - ограничение механизма стимулирования, $i = \overline{1, n}$. Величину $p_i(y_i) = 1 - q_i(y_i)$ естественно назвать риском i -го исполнителя.

Рассмотрим следующую модель. Пусть все n исполнителей функционируют в течении нескольких периодов времени. Будем считать, что проект завершен, если каждый из исполнителей получил результат, превышающий соответствующее

критическое значение V_i . Суммарный фонд стимулирования $\sum_{i=1}^n C_i(t) = R$

ограничен величиной R , одинаковой для всех периодов. Задача ПМ заключается в синтезе системы стимулирования $\{s_i^t(z_i^t)\}$, $i = \overline{1, n}$, $t = 1, 2, \dots$, минимизирующей риск.

Вероятность того, что за $k \geq 2$ периодов i -ый исполнитель выполнит задание (в предположении о независимости периодов) равна

$$Q_i(k) = 1 - [p_i(C_i)]^k. \quad (1)$$

Вероятность того, что за k периодов весь проект будет завершен (все исполнители выполняют свои задания):

$$Q(k) = \prod_{i=1}^n (1 - [p_i(C_i)]^k). \quad (2)$$

Пусть центр перед началом реализации проекта решает задачу распределения фонда стимулирования между исполнителями с целью максимизации надежности. Для простоты будем считать, что ограничения механизма стимулирования не меняются от периода к периоду, то есть

$$\begin{cases} Q(k) \rightarrow \max_{\{C_i\}} \\ \sum_{i=1}^n C_i \leq R \end{cases}.$$

Обозначим $\{C_i\}$ - решение этой задачи. В начале первого периода $\{C_i\}$ - оптимальное распределение фонда стимулирования. Возникает вопрос - будет ли это же распределение оптимально и во втором периоде? Очевидно, если ни один из исполнителей не выполнил своего задания в первом периоде, то во втором периоде оптимальным будет $\{C_i\}$. Если же один или несколько исполнителей в первом

периоде выполнили свои задания, то, очевидно, во втором, третьем и т.д. периодах их можно не стимулировать. Поэтому оптимальная стратегия ПМ - в каждом периоде распределять фонд стимулирования только между теми исполнителями, которые еще не выполнили своих заданий. Рассмотрим следующий пример. Пусть

$$p_i(C_i) = \begin{cases} 1 - \frac{C_i}{R}, & C_i \leq R \\ 0, & C_i \geq R \end{cases}, i = \overline{1, n}.$$

Очевидно, существует механизм, при котором проект завершается за время $T = n$ с вероятностью единица (в первом периоде весь фонд выделяется первому активному элементу (АЭ), во втором - второму и т.д.). Поэтому если $k \geq n$, то оптимальная стратегия найдена.

В каждом конкретном случае целесообразно искать простые правила и алгоритмы распределения фонда стимулирования. Например, если распределение результатов деятельности равномерное, и функции дохода (затрат) исполнителей также линейны, то на каждом шаге (в каждый момент времени) каждому исполнителю следует выделять фонд стимулирования, обратно пропорциональный величине носителя распределения.

Возможность использования относительно универсальных простых процедур управления проиллюстрируем следующим примером. Пусть $n = 2$. На рисунке 30 изображено дерево возможных состояний проекта. Белые кружки соответствуют невыполненным заданиям, черные - выполненным. В начальный момент времени ($k = 0$) оба задания невыполнены. В момент времени $k = 1$ возможны следующие четыре варианта: оба задания выполнены, оба задания невыполнены, одно из заданий выполнено. Очевидно, одинаковы оптимальные распределения в ситуациях $\{A, B, D, \dots\}$, $\{H, E, F, \dots\}$, $\{I, G, C, \dots\}$, то есть существует только три принципиально различных ситуации. В общем случае число различных ситуаций равно 2^n .

Выработка таких простых процедур позволяет ПМ оперативно решать оптимизационные задачи и принимать решения в реальном времени.

В разделе 5.1 рассмотрены механизмы пересоглашения контрактов. Использование пересоглашения по мере поступления новой информации позволяет повышать надежность проекта. Действительно, можно показать, что в одноэлементных системах со снижением неопределенности относительно результатов деятельности исполнителей, возрастает надежность оптимального контракта. Поэтому, если снижается неопределенность и используется пересоглашение, то уменьшается риск. Этот вывод легко обобщается на случай АС со слабо связанными элементами.

Рассмотрим следующую модель оперативного управления риском. Пусть до начала реализации проекта известно, что конечный результат может быть достигнут несколькими способами. Предположим, что имеется n заданий (операций, работ). Представим проект в виде графа с $(n + 2)$ вершинами. Нулевая вершина соответствует началу выполнения проекта, n вершин - операциям,

(n + 1)-я вершина - завершению проекта. Пусть любой путь из нулевой вершины в (n + 1)-ю соответствует полному выполнению проекта. Возможны различные подходы к выбору оптимального пути, то есть оптимального варианта проекта.

Если для каждой из дуг (i, j) определено число p_{ij} - вероятности успешного выполнения j-го задания после i-го, то надежность пути (в предположении независимости случайных величин) равна произведению длин дуг. Если дуге (i, j) вместо p_{ij} приписать величину $\tilde{p}_{ij} = -\ln p_{ij}$, то надежность варианта определяется длиной пути (суммой длин дуг), соответствующего этому варианту. Для поиска варианта проекта, характеризующегося максимальной надежностью, достаточно найти путь минимальной длины (для этого можно воспользоваться алгоритмами Форда, Данцига и др. [1]).

Если помимо вероятностей заданы стоимости операций и имеется бюджетное ограничение, то перед поиском варианта с максимальной надежностью следует ограничиться множеством вариантов, допустимых с точки зрения бюджетного ограничения.

Пусть ПМ решил задачу поиска варианта максимальной надежности одним из методов, описанных выше. После начала реализации проекта может обнаружиться, что развитие проекта не совпадает с прогнозируемым - например, отказали исполнители, первоначально считавшиеся «надежными», и т.д. В этом случае ПМ целесообразно проанализировать, какие работы уже выполнены, какие работы еще предстоит выполнить, как изменились вероятности успешного завершения еще невыполненных операций с учетом вновь поступившей информации (если такая информация поступила). В том случае, если реальная ситуация сильно отличается от планируемой или если новый прогноз отличается от сделанного до начала проекта, то ПМ целесообразно пересмотреть используемые управления. Отбрасывая уже выполненные операции и строя заново граф проекта (с учетом допустимости и функциональной полноты), ПМ вновь определяет оптимальный (с точки зрения, например, надежности) вариант. Новый оптимальный вариант, в общем случае, может не совпадать с определенным первоначально. По мере поступления новой информации задача выбора оптимального варианта может решаться неоднократно.

Таким образом, оперативное управление проектом (в том числе его надежностью и риском), понимаемое в самом широком смысле как многократное (в реальном времени) решение задачи выбора оптимального управления с учетом всей имеющейся информации, позволяет повысить эффективность управления проектом, особенно в условиях неопределенности. При разработке конкретных механизмов оперативного управления целесообразно использовать модели и методы теории графов, марковских цепей, динамического программирования и оптимального управления [1, 8, 10].

При использовании конкретных механизмов в управлении реальными проектами ПМ, как правило, сталкивается со следующей проблемой: сложность механизма управления может оказаться неадекватной временным и вычислительным возможностям ПМ, то есть получение оптимального решения

задачи синтеза управлений на будущий период не должно превышать длительности этого периода. Иными словами, кому нужен точный прогноз погоды на завтра, если его можно получить только послезавтра! Проблема адекватности, к сожалению, не имеет на сегодняшний день универсальных решений. Среди частных методов ее решения можно назвать упомянутый выше метод априорной выработки относительно простых и универсальных решений, а также - упрощение оптимизационной задачи до тех пор, пока модель не «заработает» в реальном времени (желательно, правда, при этом не потерять хотя бы качественных свойств модели).

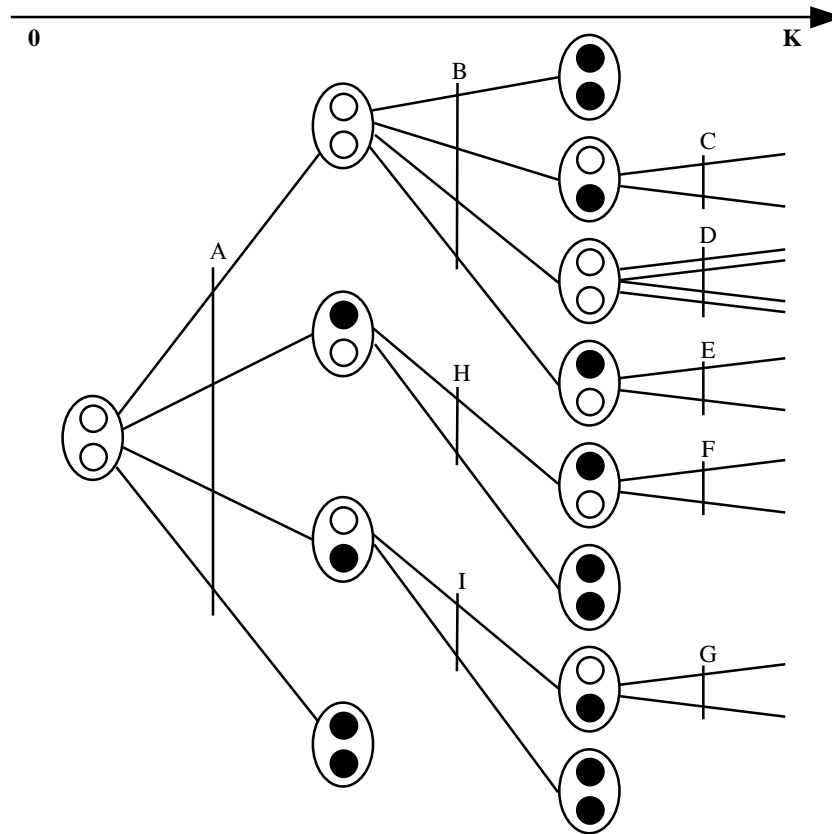


Рис. 30.

5.3. Механизмы опережающего самоконтроля

При отклонении хода реализации проекта от запланированного руководителю проекта желательно как можно раньше иметь соответствующую информацию с тем, чтобы своевременно принять меры. Механизмы, стимулирующие возможно более раннее информирование об отклонениях от плана, называются механизмами опережающего самоконтроля. Идея таких механизмов в том, что наказание исполнителя при отклонении хода проекта от запланированного меньше, если он своевременно сообщит об отклонениях, что позволит руководителю проекта либо провести компенсационные мероприятия, либо скорректировать план.

Рассмотрим простую модель с механизмом опережающего самоконтроля. Обозначим x - плановый объем работ в периоде T , y - фактический выполненный объем работ по проекту (случайная величина), $F_t(y)$ - функция распределения y в рассматриваемый момент $\tau < T$ (T - планируемый период). Пусть в момент τ исполнитель имеет право скорректировать план x . Обозначим v_τ - скорректированный план, $\xi_\tau(v_\tau - x)$ - штраф за корректировку плана. При невыполнении плана в момент T исполнитель штрафует на величину

$$c(y, v_t) = \begin{cases} a(v_t - y), v_t \geq y \\ b(y - v_t), v_t \leq y \end{cases}. \quad (1)$$

Наконец, при выполнении объема работ y исполнитель получает оплату λy (будем считать без ограничения общности, что $\lambda = 1$). Окончательно интересы исполнителя в момент корректировки плана описываются выражением:

$$f(x, v_t, y) = y - c(v_t, y) - x_\tau(v_t - x). \quad (2)$$

Найдем максимум математического ожидания этой величины, предполагая, что

$$x_\tau(z_t) = \begin{cases} g z_t \frac{t}{T}, z_t \geq 0 \\ -\Theta z_t \frac{t}{T}, z_t \leq 0 \end{cases}. \quad (3)$$

Условия оптимальности оценки v_t имеют вид:

$$\begin{cases} F_t(v_t) = \frac{b-g}{a+b} \frac{t}{T}, \text{ если } F_t(x) < \frac{b-g}{a+b} \frac{t}{T} \\ F_t(v_t) = \frac{b+g}{a+b} \frac{t}{T}, \text{ если } F_t(x) > \frac{b+g}{a+b} \frac{t}{T}; \\ v_t = x, \text{ если } \frac{b-g}{a+b} \frac{t}{T} \leq F_t(x) \leq \frac{b+\Theta}{a+b} \frac{t}{T} \end{cases} \quad (4)$$

Здесь мы учитываем, что в начальный момент $\tau = 0$ исполнитель принимает на себя объем работ x , обеспечивающий максимум ожидаемой величины его дохода

$$y - c(x, y),$$

то есть, удовлетворяющий условию

$$F_0(x) = \frac{b}{a + b}.$$

Проведем анализ полученного результата. Во-первых, при небольшом изменении $F_\tau(y)$ по сравнению с $F(y)$ корректировка плана не производится, поскольку это не выгодно исполнителю. Заметим, что это не выгодно и руководителю проекта, поскольку небольшие отклонения могут быть ликвидированы в дальнейшем. При больших изменениях риска (отклонении $F_\tau(y)$ от $F(y)$) производится корректировка плана. При этом, чем позже будет произведена корректировка, тем больше штраф за нее.

Важно отметить, что допущение корректировки плана не влияет на выбор плана x в начале периода.

Переходя к рассмотрению случаев нескольких корректировок в моменты $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n$, заметим, что для рассматриваемой кусочно-линейной функции штрафа решение о корректировке плана в любой момент времени принимается на основе выражений (3) - (4), как если бы мы имели дело с единственной корректировкой.

При использовании выпуклых функций штрафа за корректировку следует учитывать эффект растягивания корректировки на несколько моментов времени. Действительно, боясь большого штрафа за корректировку (при выпуклых функциях штрафа), исполнитель может провести несколько небольших корректировок в последовательные моменты времени, выигрывая на сумме штрафов.

Применение вогнутых функций штрафа за корректировку имеет свои минусы. При таких функциях штрафа исполнителю нелегко определить оптимальную величину корректировки плана. Поэтому в механизмах опережающего самоконтроля целесообразно применять кусочно-линейные функции штрафа (1).

Очевидно, что механизмы опережающего самоконтроля могут применяться и в системах контроля сроков реализации операций проекта, а также других плановых показателей.

5.4. Компенсационные механизмы оперативного управления

Влияние случайных и неопределенных факторов во многих случаях приводит к нарушению запланированных сроков завершения различных этапов проекта. Для таких случаев руководитель проекта предусматривает финансовые и материальные резервы и соответствующие компенсационные меры (мероприятия). Механизмы, реализующие компенсационные мероприятия с целью ликвидации срывов, будем называть компенсационными механизмами. Такие механизмы значительно снижают проектные риски. Рассмотрим пример компенсационного механизма, направленного на ликвидацию (компенсацию) отставания в сроках реализации проекта.

Рассмотрим сетевой график проекта (рис. 31). Пусть в результате непредвиденных срывов ряда операций срок реализации проекта (длина критического пути $T_{кр} = 17$) превышает требуемый на некоторую величину $\Delta = 4$. Для ликвидации отставания выделяется дополнительное финансирование. Задача руководителя проекта - обеспечить требуемые сроки реализации проекта с минимальной величиной средств на стимулирование исполнителей.

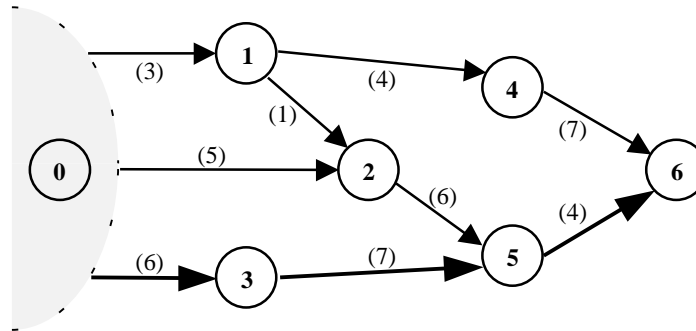


Рис. 31.

Компенсационный механизм работает в данном случае следующим образом. Объявляется, что за каждый день (неделю, месяц) сокращения длительности операции назначается дополнительное стимулирование λ . Каждый исполнитель операции сообщает руководителю проекта величину $t_i(\lambda)$ сокращения продолжительности соответствующей операции при различных значениях величины λ . У руководителя проекта получается следующая таблица:

№ операции \ λ	1	2	3	4	5	6
(0-1)	0	12	1	2	2	2
(0-2)	0	0	1	1	2	2
(0-3)	0	0	1	2	2	2
(1-2)	0	1	1	2	2	2
(1-4)	1	1	2	2	2	3
(2-5)	0	0	1	1	1	1
(3-5)	1	1	2	2	2	2
(4-6)	0	1	1	1	1	2
(5-6)	0	0	0	1	1	1

Процедура принятия решения заключается в определении минимального λ , при котором срок реализации проекта будет не более требуемого. В нашем примере при

$\Delta = 4$ это $\lambda = 4$. Легко проверить, что если при $\lambda = 4$ всем исполнителям сократить продолжительность операций на указанные в таблице величины, то длина критического пути будет равна 12, что меньше требуемой. В случае неоднозначности минимизируется суммарное сокращение, то есть определяются

новые продолжительности операций $t'_i = t_i - \Delta_i$, так чтобы $\Theta = \sum_{i=1}^n \Delta_i$ была

максимальной при условии, что $\Delta_i \leq t_i(I)$. Это определяется требованием минимизации величины дополнительного стимулирования, равного λ . В нашем примере минимум Θ достигается при сокращении продолжительностей операций (4-6), (5-6) и (0-3) на единицу и операции (3-5) на два, $\Theta=5$. Дополнительное стимулирование составит $\lambda\Theta = 20$.

Задача минимизации Θ является частным случаем известной задачи оптимизации сети по стоимости [1], для решения которой существуют эффективные алгоритмы.

Для исследования свойств описанного механизма рассмотрим простую аналитическую модель. Обозначим $\varphi_i(t_i)$ - измеренные в денежном выражении дополнительные усилия i -го исполнителя по сокращению продолжительности операции на величину t_i в том смысле, что интерес исполнителя определяется разностью дополнительного стимулирования λt_i и усилий $\varphi_i(t_i)$:

$$\lambda t_i - \varphi_i(t_i) \quad (1)$$

Примем для упрощения вычислений, что $j_i(t_i) = \frac{1}{2r_i} t_i^2$. Очевидно, что при заданной величине λ исполнителю выгодно величина сокращения длительности операции, максимизирующая эту разность. Максимум разности (1) достигается при $t_i(\lambda) = \lambda r_i$. Примем, что исполнитель сообщает оценку s_i параметра r_i . Пусть сетевой график представляет последовательную цепочку операций. Тогда из условия

$$\sum_{i=1}^n t_i(I) = \Delta \text{ определяем:}$$

$$I = \frac{\Delta}{S}, \text{ где } S = \sum_i s_i.$$

Покажем, что исполнитель проигрывает, если он сообщает искаженные сведения о величине r_i , то есть $s_i \neq r_i$. Тогда величина (1) будет равна

$$I^2 s_i - \frac{1}{2r_i} I^2 s_i^2 = I^2 s_i \left(1 - \frac{s_i}{2r_i} \right).$$

Легко видеть, что максимум этого выражения при фиксированном λ достигается при $s_i = r_i$. Данный вывод справедлив при весьма широких предположениях о виде функций $\varphi_i(t_i)$. Более того, если функции $\varphi_i(t_i)$ являются выпуклыми, то описанный механизм минимизирует суммарные дополнительные усилия всех исполнителей на сокращение продолжительности проекта. Свойство

выпуклости представляется вполне естественным, поскольку, как правило, каждая следующая единица сокращения продолжительности операции дается с бо́льшим трудом. В предыдущих рассуждениях мы не учли, что величина λ , получаемая на основе (1), сама зависит от оценок s_i . Однако, при достаточно большом числе исполнителей, влияние оценки отдельного исполнителя на величину λ мало, и им можно пренебречь.

Еще одним положительным свойством описанного механизма являются минимальные требования к системе контроля за сроками реализации, поскольку исполнители сами заинтересованы в завершении операции в установленные сроки. Если руководитель применяет достаточно «жесткую» систему контроля с сильными санкциями при срыве заданных сроков выполнения операций, то описанный механизм можно улучшить (в смысле уменьшения величины дополнительного стимулирования), организовав конкурс между исполнителями. Для этого необходимо установить λ так, чтобы продолжительность проекта была немного меньше требуемой (при продолжительностях операций, измененных на $t_i(\lambda)$). Это дает руководителю определенную свободу выбора исполнителей, для которых сокращается продолжительность операции (и которые получают дополнительное стимулирование). Если в первую очередь в качестве претендентов на сокращение продолжительности операций выбираются исполнители с максимальными $t_i(\lambda)$, то такой принцип выбора победителей конкурса приводит к заинтересованности исполнителей повышать $t_i(\lambda)$.

Проведение деловых игр показало, что введение конкурсности позволяет ощутимо снизить величину дополнительного стимулирования при малом числе операций, когда влияние отдельного исполнителя на величину λ значительно и им нельзя пренебрегать.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итак, мы рассмотрели подход к решению задачи синтеза комплекса оптимальных механизмов управления проектом. Анализ предложенных моделей и полученных результатов позволяет сделать следующие качественные выводы.

При решении задач управления проектами использование теоретико-игровых моделей, методов теории управления и теории активных систем целесообразно и, более того, необходимо, так как позволяет значительно повысить эффективность управления, качество результатов реализации проекта, а также снизить затраты и риск.

Использование моделей и методов теории активных систем позволяет учесть проявления активности элементов организационных систем, выработать действенные меры по согласованию интересов, обеспечить достоверность сообщаемой информации.

Применение теоретических результатов* при проведении прикладных разработок и управлении реальными проектами следует производить достаточно продуманно и осторожно - как отмечалось во введении, приведенный комплекс организационных механизмов не охватывает, да и не может охватить, в принципе, все многообразие реальных ситуаций. Поэтому настоящая работа может рассматриваться и как набор рекомендаций - конструктор, из которого ПМ может выбрать требующиеся для него механизмы, и как учебное пособие, показывающее, как синтезировать оптимальные механизмы управления проектами в той или иной ситуации.

В качестве перспективного направления исследований механизмов управления проектами следует выделить возможность взаимообогащающего совместного развития теории и практики управления. Задачи, возникающие при управлении конкретными проектами, требуют адекватных методов их решения. С этой точки зрения представляется целесообразным создание базы знаний по механизмам УП, включающей как теоретические разработки, так и опыт их практического применения.

* Необходимо отметить, что в списке литературы приведены основные работы по теории активных систем и некоторые работы по УП и сетевому планированию. Ряд новых результатов, полученных авторами и использованных в настоящей работе, опубликован в журнале "Автоматика и телемеханика" за последние годы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бурков В.Н., Горгидзе И.А., Ловецкий С.Е. Прикладные задачи теории графов. Тбилиси: Мецниереба, 1974. - 234 с.
2. Бурков В.Н., Данев Б., Еналеев А.К. и др. Большие системы: моделирование организационных механизмов. М.: Наука, 1989. - 246 с.
3. Бурков В.Н., Ириков В.А. Модели и методы управления организационными системами. М.: Наука, 1994. - 270 с.
4. Бурков В.Н., Кондратьев В.В. Механизмы функционирования организационных систем. М.: Наука, 1981. - 384 с.
5. Бурков В.Н., Кондратьев В.В., Цыганов В.В., Черкашин А.М. Теория активных систем и совершенствование хозяйственного механизма. М.: Наука, 1984. - 272 с.
6. Бурков В.Н., Новиков Д.А. Введение в теорию активных систем. М.: ИПУ РАН, 1996. - 125 с.
7. Бурков В.Н. Основы математической теории активных систем. М.: Наука, 1977. - 255 с.
8. Вагнер Г. Основы исследования операций. М.: Мир, 1972. Т. 1-4.
9. Воропаев В.И. Управление проектами в России. М.: Аланс, 1995. - 225 с.
10. Давыдов В.Г. Исследование операций. М.: Высшая школа, 1990. - 383 с.
11. Мулен Э. Кооперативное принятие решений: аксиомы и модели. М.: Мир, 1991. - 464 с.

Научно-практическое издание

Владимир Николаевич Бурков
Дмитрий Александрович Новиков

КАК УПРАВЛЯТЬ ПРОЕКТАМИ

Литературный редактор и корректор Т.Н. Морозова

Компьютерный набор, оригинал-макет и оформление
выполнены ООО «НПО СИНТЕГ»

ИЧП «ГЕО». Лицензия № 062471 от 26 марта 1993 г.

Подписано в печать 30.04.97. Формат 60x88/16.
Гарнитура «Times New Roman Cyr».
Бумага офсетная. Печать офсетная.
Физ. печ. л. 11,5. Тираж 3000 экз.
Цена договорная.

Отпечатано в Раменской типографии
с готовых оригинал-макетов.
М.О., г. Раменское, Сафоновский пр-д, д.1, тел. 377-0783.

ООО «НПО СИНТЕГ» готовит к печати следующие книги серии «Информатизация России на пороге XXI века»:

Э.А. Трахтенгерц. Компьютерная поддержка принятия решений. Объем - 160 стр. Формат - А5. Тираж - 3000 экз. III кв. 1997 г.

В книге освещается методика поддержки принятия решений, позволяющая лицу, принимающему решение, сочетать собственные субъективные предпочтения с компьютерным анализом ситуации в процессе выработки решений.

Автор - главный научный сотрудник ИПУ РАН, д.т.н., проф. член Нью-Йоркской академии наук, им опубликовано 160 научных работ, в том числе 6 монографий и более 10 брошюр.

Книга предназначена для широкого круга читателей. Она может быть использована студентами и аспирантами высших учебных заведений, руководителями предприятий и организаций, практически каждым человеком, поскольку принятие решений - это часть нашей повседневной жизни.

Е.З. Зиндер. Бизнес-реинжиниринг и новое системное проектирование. Объем - 190 стр. Формат - А5. Тираж - 3000 экз. IV кв. 1997 г.

В книге дается достаточно полный анализ развития направлений и методов проектирования сложных информационных и информационно-управляющих систем и описана предложенная автором методология создания сложных систем, которую он назвал Новым Системным Проектированием, объединив в единое целое три основных составляющих: требование непрерывного совершенствования системы управления (получившее в последнее время название «бизнес-реинжиниринг»), информационные технологии и человеческий фактор.

Автор - главный аналитик новой компании - LVS/Waterhouse Business Solution, созданной в 1997 г. в результате объединения на российском рынке ведущей отечественной компании в области информационных технологий LVS с российским подразделением Management Consulting Services международной компании Price Waterhouse, одной из самых влиятельных в мире консалтинговых фирм, член редакционного совета журнала СУБД (Системы Управления Базами Данных). За 1995 - 1997 г.г. им опубликован ряд работ, получивших известность и высокую оценку в среде руководителей проектов систем управления предприятиями и организациями. Автор активно работает в области проектирования больших информационных и информационно-управляющих систем различного назначения.

Книга предназначена для руководителей предприятий и организаций, планирующих изменения и формирующих требования к системам управления своими организациями, специалистов в области проектирования информационно-управляющих систем, студентов и аспирантов, изучающих проблемы бизнес-реинжиниринга и методов проектирования систем автоматизации.

Приглашаем организации для размещения в выпускаемых книгах реклам своей продукции, близкой к тематике книг. Ведь по эффективности охвата целевой аудитории книги равны специализированным газетам и журналам, а по продолжительности воздействия превосходят их многократно!..

Ждем заявок на приобретение и распространение книг.

Контактный тел./факс (095) 371-1316.

В течение последних нескольких десятилетий сформировалась новая научная дисциплина - управление проектами (Project Management) - раздел теории управления социально-экономическими системами, изучающий методы, формы, средства и т.д. наиболее эффективного и рационального управления изменениями.

Значительную часть методологии управления проектами составляют механизмы управления, позволяющие отвечать на вопрос «Как управлять проектами?». Однако эти проблемы практически не представлены в ранее опубликованных книгах.

Предлагаемая книга, опираясь на теоретические и прикладные исследования авторов и их коллег, позволяет составить целостное представление о всем комплексе механизмов, используемых на различных этапах жизненного цикла проекта, начиная с определения целей проекта и заканчивая оперативным управлением процессом его реализации.

Авторы книги - известные специалисты в области систем управления.

Книга ориентирована на руководителей предприятий и организаций, менеджеров проектов, а также представляет интерес для специалистов по теории управления социально-экономическими системами и может быть использована в качестве пособия как проект-менеджерами, так и студентами и аспирантами соответствующих специальностей ВУЗов.