

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
Институт проблем управления
им. В.А. Трапезникова

А.В. Лысаков, Д.А. Новиков

**ДОГОВОРНЫЕ ОТНОШЕНИЯ
В УПРАВЛЕНИИ ПРОЕКТАМИ**

Москва – 2004

УДК 007
ББК 32.81

Лысаков А.В., Новиков Д.А. Договорные отношения в управлении проектами. М.: ИПУ РАН, 2004. – 100 с.

Настоящая работа содержит результаты исследований теоретико-игровых и оптимизационных моделей договорных отношений в управлении проектами.

Вводится система классификаций задач управления договорами, описывается специфика договорных отношений в управлении проектами, рассматриваются модели договорных отношений в терминах задач стимулирования в одноэлементных, многоэлементных и многоуровневых активных системах, а также механизмы планирования, рефлексивные модели переговоров и задачи пере-соглашения договоров.

Работа рассчитана на специалистов (теоретиков и практиков) по управлению организационными системами.

Рецензент: д.т.н., проф. В.Н. Бурков

Утверждено к печати Редакционным советом Института

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1. Институциональная основа договорных отношений	6
2. Система классификаций задач управления договорами	12
3. Специфика договорных отношений в управлении проектами ...	15
4. Договоры с точки зрения теории принятия решений (задача о торге)	23
5. Модели и методы определения параметров договора	28
5.1. Область компромисса: базовая модель	29
5.2. Договоры с нормативом рентабельности	41
5.3. Область компромисса в многоэлементных системах	44
5.4. Многоуровневые системы управления договорами	51
6. Модели и методы планирования, выбора контрагентов и оперативного управления	69
6.1. Механизмы планирования	69
6.2. Рефлексивные модели переговоров	74
6.3. Дополнительные соглашения	86
Заключение	92
Литература	93

ВВЕДЕНИЕ

Управление проектами, как управление изменениями, является на сегодняшний день интенсивно развивающейся областью теории управления, результаты исследований в которой [32, 51, 57, 90-92, 99, 106, 110-114, 120, 122] находят широкое применение на практике. В крупных проектах, как правило, участвует значительное число исполнителей (*агентов*), взаимодействие которых с заказчиками (*центрами*) регламентируется *договорами*. Несмотря на наличие множества исследований процессов и результатов переговоров и договоров (как в экономике [1, 43, 53, 61, 62, 78, 80, 82, 84, 94, 100, 101, 102, 124], так и в теории принятия решений [2, 41, 42, 44, 59, 85, 93, 115]), на сегодняшний день отсутствует целостная картина возможных механизмов управления договорными отношениями в проектной деятельности. Поэтому актуальной представляется разработка теоретико-игровых и оптимизационных моделей договорных отношений в управлении проектами, которые позволяли бы учитывать целенаправленность поведения субъектов договорных отношений, а также ставить и решать задачи синтеза эффективных механизмов управления договорными отношениями в управлении проектами.

Можно выделить три общих аспекта описания договорных отношений.

Первый соответствует правовым нормам, регламентирующим взаимодействие договаривающихся сторон, то есть *институциональным ограничениям*, которые кратко описываются в первом разделе и не являются предметом настоящего исследования (см. модели институционального управления в [63]).

Второй аспект – аспект *принятия решений*, с точки зрения которого в настоящей работе рассматриваются механизмы управления договорами, то есть модели и методы (процедуры) принятия решений участниками договорных отношений.

И, наконец, третий аспект – *автоматизация управления договорами* (регистрация, хранение, обработка и т.д. соответствующей информации) в настоящей работе не затрагивается. Описание автоматизированных систем управления договорами (как подсистем)

тем автоматизированных корпоративных систем управления проектами) можно найти в [33, 34, 45, 95].

Изложение материала настоящей работы имеет следующую структуру. В первом разделе кратко анализируется институциональная основа договорных отношений. Во втором разделе вводится система классификаций задач управления договорами, что позволяет в третьем разделе описать специфику договорных отношений в управлении проектами, перечислить основные задачи управления ими, рассмотреть возможность применения известных механизмов управления и выделить перспективные области исследований. В четвертом разделе договоры рассматриваются с точки зрения теории принятия решений, в пятом разделе «Модели и методы определения параметров договора» описаны модели договорных отношений в терминах задач стимулирования в одноэлементных, многоэлементных и многоуровневых активных системах. В шестом разделе «Модели и методы планирования, выбора контрагентов и оперативного управления» рассмотрены механизмы планирования, рефлексивные модели переговоров и задачи пересоглашения договоров. Заключение содержит краткое обсуждение основных результатов и перспектив дальнейших исследований.

1. ИНСТИТУЦИОНАЛЬНАЯ ОСНОВА ДОГОВОРНЫХ ОТНОШЕНИЙ

В условиях рынка одним из основных инструментов обеспечения контроля и мотивации участников проекта является договор, на основании условий которого строятся отношения между любыми субъектами правового государства. *Договором* в гражданском праве называется «соглашение двух или более лиц об установлении, изменении или прекращении гражданских прав и обязанностей (заем, купля-продажа, подряд и др.)» [10, С. 366]; «соглашение, обычно письменное, о взаимных обязательствах» [79, С. 139].

Договорные отношения (ДО) – распространенный в практике управления тип отношений между экономическими субъектами – заказчиком и исполнителем, отражающие содержание и условия их обоюдновыгодного взаимодействия.

В работах [112-114] предложены типовые схемы взаимодействия участников проекта (см. рисунки 1 и 2).



Рис. 1. Традиционная схема договорных отношений



Рис. 2. Схема договорных отношений в управлении строительством

Прежде чем перейти к дальнейшему изучению проблемы договорных отношений, рассмотрим их правовые аспекты – институциональную основу договорных отношений.

Отношения экономического оборота регулирует гражданское право, поэтому гражданские права и обязанности чаще всего возникают в результате целенаправленных и правомерных действий организаций и граждан, являющихся участниками экономического оборота. Такие действия, как заключение договора, его исполнение, различные расчеты, составление доверенности, завещания и другие действия субъектов гражданского права влекут за собой определенные гражданско-правовые последствия.

Сделками признаются действия граждан и юридических лиц, направленные на установление, изменение или прекращение гражданских прав и обязанностей (ст. 153 ГК РФ). При этом в ст. 153 ГК имеются в виду не только граждане и юридические лица РФ, но и иностранные граждане и юридические лица, а также лица без гражданства, если иное не предусмотрено федеральным законом. Помимо того, сделки могут быть совершены другими участниками регулируемых гражданским законодательством отношений Российской Федерации, к примеру, муниципальными образованиями.

Поскольку закон связывает с совершением сделки установление, изменение или прекращение гражданских прав и обязанностей, сделки относятся к категории юридических фактов.

Как юридические факты они представляют собой наиболее распространенную группу правомерных действий, то есть действий, отвечающих требованиям закона и других актов. Этим сделки отличаются от неправомерных действий-деликтов (гл. 59 ГК РФ), а также неосновательного обогащения (гл. 60 ГК РФ), если такое обогащение возникает в силу действий субъекта гражданского права. Несоответствие сделки предписанным законодательством требованиям влечет ее недействительность, последствия которой применительно к отдельным видам таких сделок различны (§ 2 гл. 9 ГК РФ).

Сделки всегда представляют собой волевые акты. Они совершаются по воле участников гражданского оборота.

По количеству участников правоотношения сделки можно подразделить на два вида: односторонние и двух- или многосторонние.

Односторонние сделки определяются, как сделки, для совершения которых необходимо и достаточно выражение воли одной стороны. К такой сделке можно отнести, например, доверенность (ст. 185 ГК РФ).

Двухсторонней и многосторонней сделкой считается сделка, для совершения которой в соответствии с законом, иными правовыми актами или соглашением сторон необходимо выражение согласованной воли двух и более сторон (ст. 154 ГК РФ). Самой распространенной сделкой данного вида является договор.

Понятие, стоящее за термином «договор», раскрывается в самом кодексе: соглашение двух и более лиц, направленное на установление, изменение или прекращение гражданских прав и обязанностей (ст. 420 п. 1 ГК РФ).

Иными словами, договор – это юридический и операционный документ, фиксирующий достигнутые между сторонами соглашения и условия их выполнения.

Работа с договорами является составной частью процесса управления, где договоры используются как источник, определяющий действия, права и обязанности сторон.

Договоры, в зависимости от соотношения прав и обязанностей участников обязательства, можно разделить на два вида: двусторонние и многосторонние, отличающиеся не числом участников, поскольку в двустороннем договоре могут участвовать не два, а несколько лиц, и тем не менее договор остается двусторонним. Примером данного вида договоров может служить договор купли-продажи, в котором одна сторона – продавец, обязана передать имущество, а другая сторона – покупатель – принять это имущество. Этот вид характеризует, прежде всего, встречная направленность и противоположность, которая отсутствует в многосторонних договорах. Примером многостороннего договора является договор о совместной деятельности, о создании простого товарищества. Данные договоры встречаются довольно редко, преобладающее положение в гражданском праве занимают двусторонние договоры.

Под термином «договор» понимают также *гражданское правоотношение*, возникшее из договора, и *документ*, в котором изложено содержание договора, заключенного в письменной форме.

Подводя итог вышеизложенному, можно сказать, что термин «договор» расшифровывается комплексно – и как соглашение, и как документ, фиксирующий это соглашение, и как возникающее обязательство. Поэтому следует учитывать, в каком именно из приведенных значений употребляется термин «договор» в той или иной норме Гражданского кодекса.

В гражданском праве существуют определенные условия, на которых должны базироваться стороны при заключении договора. К таким условиям, прежде всего, относится *свобода договора*. Данному понятию необходимо дать оценочную характеристику, поскольку оно является основополагающим условием заключения договора, и его выполнение является обязательным в дальнейшем изложении материала данной работы.

Проявление свободы договора в конкретной договорной практике имеет для сферы гражданского оборота ряд весьма важных аспектов:

1. Участники гражданских правоотношений свободны в заключении договора. Они не могут быть принуждены к заключению

договора, исключая случаи, когда обязанность такого заключения предусмотрена Гражданским кодексом, законом или добровольно принятым обязательством (п. 1 ст. 421 ГК РФ). Следовательно, граждане и юридические лица свободны заключать или не заключать договор, а также в выборе контрагента по договору. Второй случай, то есть понуждение к заключению договора, можно рассмотреть на следующем примере: Законом о поставках предусмотрена обязательность для поставщиков, обладающих монополией на производство отдельных видов продукции, к заключению договоров на поставку продукции для федеральных государственных нужд.

2. Участники гражданских правоотношений могут заключать не только договоры, предусмотренные законами или иными нормативными актами, но и иные договоры, не противоречащие им.

3. Стороны договора могут конструировать свои взаимоотношения из элементов нескольких различных договоров, создавая так называемый смешанный договор. В таком случае к их отношениям будут применяться в соответствующих частях правила о тех договорах, элементы которых использованы сторонами, если иное не вытекает из существа смешанного договора или соглашения сторон о том, какие нормы подлежат применению к их договору (п. 3 ст. 421 ГК РФ).

4. Стороны договора свободны в определении условий его содержания, исключая случаи, когда те или иные условия договора прямо предписываются законом или иным правовым актом.

5. В соответствии с п. 4 ст. 421 ГК РФ стороны договора свободны установить для регулирования своих взаимоотношений правила, отличающиеся от тех, которые предусмотрены диспозитивными нормами права, а, следовательно, определить свои права и обязанности.

Таким образом, именно свобода договора лежит в основе определения сторонами своих прав и обязанностей, выражающихся в содержании договора. Гражданские права и обязанности, порождаемые, изменяемые или прекращаемые договором, составляют содержание обязательственного отношения, возникающего из договора.

Содержание договора проявляет те положения кодекса, которые указывают на круг действий, которые обязанное лицо должно совершить в пользу управомоченного лица. Согласно этим положениям, содержание договора заключается в том, что одно лицо (должник) обязано совершить в пользу другого лица определенные действия, как-то: передать имущество, в том числе уплатить деньги, выполнить работу и т.п., либо воздержаться от определенного действия, а кредитор имеет право требовать от должника исполнения его обязанности (ст. 307 ч. 1 ГК РФ). Следовательно, договорные отношения регламентируются положениями кодекса, которые служат для регулирования обязательственных отношений вообще, если иное не предусматривается специальными положениями кодекса о договорах.

Кратко рассмотрев правовую основу договорных отношений, перейдем к классификации задач управления договорами.

2. СИСТЕМА КЛАССИФИКАЦИЙ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ ДОГОВОРАМИ

Во введении выделены три общих аспекта рассмотрения договорных отношений – институциональные ограничения, принятие решений и автоматизация управления договорами (см. рисунок 3).

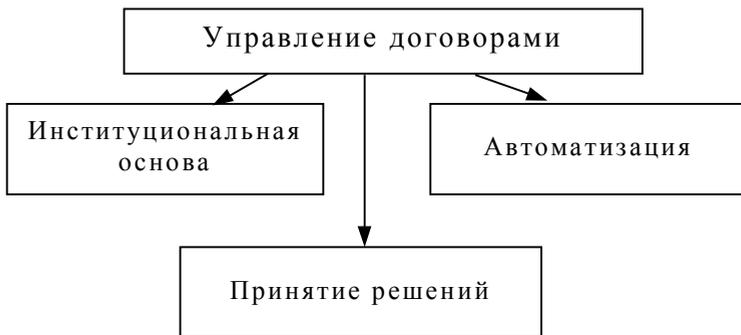


Рис. 3. Аспекты рассмотрения договорных отношений

Предметом исследования в настоящей работе являются модели и методы договорных отношений в управлении проектами, следовательно, основной задачей является разработка *моделей и механизмов (процедур) принятия решений* по управлению договорами при заданных институциональных ограничениях (см. выше). Эффективные процедуры принятия решений (соответствующие содержательным аспектам деятельности по управлению договорами), в свою очередь, служат основой создания автоматизированных систем управления договорами (берущих на себя рутинные аспекты деятельности).

Можно выделить следующие общие **задачи принятия решений** в рассматриваемой области – принятие решений относительно:

1. параметров договора;
2. структуры и содержания договоров (*планирование*);
3. выбора контрагентов;

4. оперативного управления¹;
5. контроля за исполнением и завершения договора.

Модели и методы принятия решений относительно параметров договора рассматриваются в пятом разделе настоящей работы. При этом основной акцент делается на *согласовании интересов* участников (сторон) договора в рамках теоретико-игровых моделей, отражающих активность (целенаправленность) поведения субъектов. Такой аспект, как *процесс переговоров* [58, 89], практически не рассматривается (следует иметь в виду, что переговоры могут вестись на основе некоторой, например, одной из рассматриваемых ниже, формализованной модели, относительно использования которой все участники переговоров достигли согласия), за исключением раздела 6.2.

Имея решение задачи определения параметров конкретного договора, можно ставить и решать как задачи планирования (определения оптимального или рационального при заданных ограничениях набора договоров, их содержания и т.д.), так и задачи выбора контрагентов и оперативного управления. Эти классы задач рассматриваются в шестом разделе настоящей работы.

Выделим следующие общие **этапы договорных отношений**:

- подготовка договора;
- заключение договора;
- выполнение работ по договору;
- завершение договора.

Соответствие между этапами договорных отношений и задачами управления устанавливается таблицей 1.

Отметим, что задачи контроля за исполнением и завершением договора² могут быть решены при наличии, во-первых, механизмов планирования, выбора контрагентов, оперативного управления и определения параметров договора и, во-вторых, автоматизированной системы управления договорами, содержащей в себе всю необходимую информацию не только о заключенных договорах, но и о ходе реализации проекта. Действительно, при изменении

¹ Оперативное управление включает как собственно управление договорами, так и оперативное управление деятельностью исполнителя со стороны заказчика.

² Следует различать оперативную (текущую) и завершающую приемку работ по договору.

внешних условий может возникнуть необходимость заключения новых договоров, расторжения уже заключенных, внесения дополнительных соглашений в уже существующие договоры и т.д. В соответствии с методикой, предложенной в [26, 45], для решения этих задач могут быть использованы (с соответствующей адаптацией) механизмы планирования, выбора контрагентов и определения параметров договора. Поэтому останавливаться подробно на задаче контроля за исполнением и завершения договора мы не будем.

Табл. 1.

*Соответствие между задачами управления
и этапами договорных отношений*

Этапы договорных отношений	Задачи управления
подготовка договора	планирование и выбор контрагентов
заключение договора	определение параметров договора
выполнение работ по договору	оперативное управления договорами
завершение договора	контроль за исполнением и завершением договоров

Таким образом, **общими задачами управления договорами**, требующими теоретического исследования, в первую очередь, **являются задачи планирования, выбора контрагентов, определения параметров договора и оперативного управления**. Для конкретизации и детализации этих задач (выделения комплекса подзадач) рассмотрим специфику договорных отношений в управлении проектами, а также исследуем возможность использования известных механизмов управления проектами.

3. СПЕЦИФИКА ДОГОВОРНЫХ ОТНОШЕНИЙ В УПРАВЛЕНИИ ПРОЕКТАМИ

В соответствии с определением, предложенным в [31], под *проектом* будем понимать «ограниченное во времени целенаправленное изменение отдельной системы с установленными требованиями к качеству результатов, возможными рамками расхода средств и ресурсов и специфической организацией».

В [26] выделяются следующие основные направления изучения управления проектами (УП). Во-первых, это модели и методы календарно-сетевое планирования и управления (КСПУ), позволяющие определить рациональную или оптимальную последовательность выполнения работ при заданных технологических, временных, ресурсных и других ограничениях [25, 28, 31, 37]. Такого рода модели получили всеобщее признание, легли в основу многочисленных прикладных программ для ЭВМ и широко используются при управлении реальными проектами. Кроме того, следует упомянуть модели теории управления и исследования операций [12, 18, 28, 40, 41, 42, 43].

Во-вторых, это теория и практика менеджмента [55, 56] – систематизированный набор положений о наиболее эффективном управлении организацией, носящих обобщающий, эмпирический и интуитивный характер.

И, в третьих, это – формальные модели функционирования организаций, учитывающие специфику целенаправленного (активного) поведения человека – участника проекта – как члена организации и коллектива. Ядро последнего направления составляет теория активных систем (ТАС) – раздел теории управления социально-экономическими системами, изучающий свойства механизмов их функционирования, обусловленные активностью участников [27], и работы по управлению проектами, выполняемые в рамках этого научного направления [5, 6, 19, 20, 26, 29, 36, 45, 75, 95, 96 и др.].

Характерными *признаками проекта* являются [32, 92]:

- 1) направленность на достижение конечных целей, определенных результатов;

- 2) координированное выполнение многочисленных взаимосвязанных работ с поуровневой детализацией по видам деятельности, ответственности, объемам и ресурсам;
- 3) ограниченная протяженность во времени, с определенным началом и сроком завершения;
- 4) ограниченность ресурсов и бюджета;
- 5) выполнение работ в соответствии с логикой и требованиями к качеству.

Таким образом, основным отличием проекта от предприятия, осуществляющего регулярную, повторяющуюся, цикличную деятельность, является однократность, то есть нецикличность, проектной деятельности.

Следуя предложенной в [27] систематизации, предположим, что успешная реализация любого проекта требует решения следующих общих *задач*:

- определение и анализ целей проекта;
- 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 (персоналом);
- регулирование хода работ (оперативное управление, внесение корректив) и т.д.

Проект в целом и каждый из исполнителей в отдельности характеризуются следующими *показателями* [26, 95]:

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

Среди основных *ресурсов*, используемых в УП, выделяются [32, 92]: трудовые ресурсы, денежные ресурсы, техническая оснастка, материалы, информация и технология.

Каждый проект от зарождения идеи до завершения проходит ряд последовательных (во времени) ступеней, фаз, стадий и этапов.

Их совокупность называется *жизненным циклом* проекта. Общепринятого универсального принципа разделения жизненного цикла на фазы, фазы – на стадии, стадии на этапы и т.д., на сегодняшний день не существует. В [32, 92] выделяются четыре основные *фазы* (причем последние три могут реализовываться параллельно): концепция, разработка, реализация, завершение.

В [32, 92] выделяется следующее основное *содержание работ* на различных фазах:

- *начальная фаза* (концепция): сбор исходных данных и анализ существующего состояния; определение целей задач, критериев, требований и ограничений (внешних и внутренних) проекта, экспертиза основных положений, утверждение концепции проекта;

- *фаза разработки*: формирование команды, развитие концепции и основного содержания проекта, структурное планирование, организация и проведение торгов, заключение договоров и субдоговоров с основными исполнителями, представление проектной разработки и ее получение одобрения;

- *фаза реализации* проекта: ввод в действие разработанной на предыдущих фазах системы УП, организация выполнения работ, ввод в действие системы мотивации и стимулирования исполнителей, оперативное планирование, управление материально-техническим обеспечением, оперативное управление;

- *завершающая фаза*: планирование процесса завершения проекта, проверка и испытание результатов реализации проекта, подготовка персонала для эксплуатации результатов реализации проекта, их сдача заказчику, реализация оставшихся ресурсов, оценка результатов и подведение итогов, расформирование команды проекта.

Функциями управления проектами являются [32, 92]: планирование, контроль, анализ, принятие решений, составление и сопровождение бюджета проекта, организация оценивания, оценка, отчетность, экспертиза, проверка и приемка, бухгалтерский учет, администрирование.

Подсистемами системы управления проектами являются [32, 92]: управление содержанием и объемом работ, управление продолжительностью, стоимостью, качеством, закупками и по-

ставками, ресурсами, человеческими ресурсами, изменениями, рисками, запасами, информацией и коммуникациями.

Так как в настоящей работе нас интересуют договорные отношения в УП (из перечисления содержания работ на основных фазах реализации проекта видно, что заключение договоров происходит на фазе разработки), то перечисленные функции, задачи, этапы и т.д. управления проектами, позволяют перейти к анализу специфики договорных отношений в управлении проектами.

Рассмотрим *модель договора* между двумя сторонами. Предметом договора является изменение состояния некоторой системы, то есть ее перевод из начального состояния y_0 в конечное состояние y^* , $y_0, y^* \in A$ – допустимому множеству. При этом пространство состояний предполагается достаточно полным для того, чтобы отразить все существенные аспекты – объем работ, качество работ и т.д. (иногда может задаваться плановая траектория $y(t)$). Срок договора T ($y(0) = y_0$, $y(T) = y^*$) и его стоимость R также оговариваются сторонами (в общем случае договор может включать значительно большее число параметров, отражающих права и обязанности сторон, например, обязательства в случае невыполнения условий договора, графики поставки и потребления ресурсов и др. – см. институциональные ограничения выше).

Таким образом, договор между двумя фиксированными сторонами – *заказчиком и исполнителем* – может описываться кортежем $\{y_0, y, A, T, R\}$.

В рамках теоретико-игровой модели обычно задаются целевые функции сторон договора, отражающие их предпочтения и интересы: целевая функция заказчика – $\Phi(y, R): A \times \mathcal{R}^1 \rightarrow \mathcal{R}^1$ и целевая функция исполнителя $f(y, R): A \times \mathcal{R}^1 \rightarrow \mathcal{R}^1$.

Если рассматривается теоретико-игровая модель, то, помимо перечисленных параметров, для задания модели договора (в том числе, между несколькими сторонами) следует перечислить такие параметры модели любой активной системы (АС) [27, 40, 69] как:

- *состав АС* (участники, входящие в АС – стороны договора);
- *структура АС* (совокупность информационных, управляющих, технологических и других связей между участниками АС – распределение ролей между сторонами договора – заказчик, подрядчик, субподрядчик и т.д.);

- множества допустимых действий участников АС, отражающих, в том числе, институциональные, технологические и другие ограничения их совместной деятельности;

- целевые функции участников АС, отражающих их предпочтения и интересы и зависящих, в общем случае, от действий всех участников АС;

- информированность – ту информацию, которой обладают участники АС на момент принятия решений о выбираемых стратегиях;

- порядок функционирования – последовательность получения информации и выбора стратегий участниками АС.

При рассмотрении той или иной модели договорных отношений перечисленные параметры будут конкретизироваться.

Различные аспекты и ограничения деятельности отражены:

- структурой декомпозиции работ (WBS – Works Breakdown Structure) – содержание работ;

- организационной структурой (OBS – Organization Breakdown Structure) – распределение ответственности;

- сетевым графиком – логика и технология выполнения работ.

В проектно-ориентированных организациях выделяют проектную структуру (EPS – Enterprise Project Structure), состоящую из следующих последовательно детализируемых компонент: «организация – программа – проект – пакет работ – работа – шаг».

При этом элементарной управляемой ячейкой является «работа», а разбиение работ на шаги позволяет оценивать и измерять степени выполнения работ (оцениваемых, в основном, в единицах объема выполненных работ).

Поэтому сетевой график отражает содержания и ограничения работ внутри проекта. Системообразующим фактором с точки зрения взаимодействия с внешней средой являются договорные отношения – система договоров описывает проект с точки зрения его взаимодействия с внешним окружением. Такой подход вполне согласован с современной теорией трансакционных издержек [53, 61, 78, 100, 101, 103, 116, 124].

Таким образом, ***договорные отношения в управлении проектами являются системообразующим и институализирующим фактором, позволяющим участникам проекта регламентировать и осуществлять согласованную с внешним окружением деятельность по достижению конечного результата.***

В соответствии с проведенным выше анализом задач, функций и этапов управления проектами, можно выделить следующие *специфические характеристики договорных отношений в проектно-ориентированных организациях.*

1. Контрагенты взаимосвязаны не только технологически, но и вносят определенный вклад в конечный результат деятельности, степень соответствия которого целям проекта является критерием успешности его завершения и, следовательно, критерием эффективности системы управления договорами в целом.

2. Каждый контрагент лучше, чем кто бы то ни было, знает свои возможности и конкретные условия своего функционирования, следовательно, принятие решений по управлению договорами неизбежно происходит в условиях неполной информированности.

3. Деятельность каждого контрагента в общем случае описывается несколькими показателями и оценивается по нескольким критериям.

4. Существенная взаимосвязь между контрагентами требует выбора оптимального их набора с учетом неизбежного в сложных проектах агрегирования информации о результатах деятельности отдельных исполнителей и их коллективов.

5. В проектно-ориентированных организациях, быть может выполняющих одновременно несколько проектов, параллельно могут существовать несколько структур управления, причем один и тот же контрагент может быть задействован в различных проектах.

6. Нецикличность проектной деятельности ставит на первый план необходимость оперативного определения набора контрагентов, в том числе, в условиях недостаточной информированности о существенных параметрах, например, о надежности контрагентов.

7. Уникальность проекта (в том числе, отсутствие аналогии, достаточной для принятия решений информации о внешних и внутренних нестационарных условиях функционирования и т.д.)

подразумевает, что проект реализуется в условиях неопределенности, что должно учитываться при разработке механизмов управления договорами.

Кратко обсудив специфику договорных отношений в управлении проектами, перечислим основные задачи управления ими и параллельно рассмотрим возможность применения известных механизмов управления, что позволит выделить перспективные области исследований.

Рассмотрим базовые механизмы управления проектами [5, 26], которые могут быть использованы при управлении договорами. Задачи управления договорами (см. предыдущий раздел) приводятся в столбцах таблицы 2, в ее строках указаны базовые механизмы управления проектами (с указанием основных работ, содержащих их описание). На пересечении строк и столбцов отмечена целесообразность использования механизмов управления при решении тех или иных задач управления ОП («+» – рекомендуется использовать, «●» – возможно использовать, «-» – практически не используются).

Результаты анализа специфики договорных отношений в управлении проектами и возможности использования известных механизмов управления активными системами позволяют сделать вывод, что актуальным является решение следующих теоретических **задач управления договорами:**

- определение параметров договора;
- планирование;
- выбор контрагентов;
- оперативное управление.

Табл. 2. Задачи и механизмы УП

Задачи УП	Планирование	Выбор контрагентов	Определение параметров договора	Оперативное управление	Контроль за исполнением и завершение
Механизмы УП					
Механизмы комплексного оценивания [3, 4, 26]	+	●	-	-	●
Механизмы экспертизы [14, 26, 45]	+	+	-	●	●
Механизмы агрегирования [6, 8, 20, 25, 45]	+	+	●	-	●
Тендеры и конкурсы [14, 26, 36]	●	+	●	●	-
Механизмы прогнозирования [45, 73, 74]	+	●	-	+	-
Механизмы управления составом [26, 39, 64, 68]	●	+	-	-	-
Механизмы управления структурой [23, 30, 64, 67]	●	+	-	●	-
Механизмы материально-технического обеспечения [7, 18]	+	●	●	+	●
Механизмы планирования (оптимизации производственного и коммерческого циклов, минимизации упущенной выгоды и др.) [8, 18, 26]	+	+	+	+	●
Механизмы распределения ресурсов и затрат [13, 14, 19, 26]	+	+	+	+	●
Механизмы управления риском [5, 6, 8, 17, 18, 19, 26, 29, 45]	●	●	●	+	+
Механизмы смешанного финансирования [26, 27]	+	●	●	+	-
Механизмы самокупаемости [18, 19, 26]	+	+	●	-	-
Механизмы страхования [17, 26]	●	●	+	+	+
Противозатратные механизмы [14, 26, 97]	●	+	●	-	-
Механизмы стимулирования [65, 68, 69, 70, 71, 75]	●	+	+	+	+
Механизмы освоенного объема [45]	+	●	●	+	+
Механизмы оперативного управления [5, 26, 29, 45]	-	-	-	+	+

Прежде чем переходить к изложению результатов решения сформулированных задач, опишем известную (в теории принятия решений) задачу о торге (иногда термин «Nash Bargaining Problem» переводят дословно как «задача о заключении сделок»).

4. ДОГОВОРЫ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ТЕОРИИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ (ЗАДАЧА О ТОРГЕ)

Рассмотрим следующую модель. Пусть имеется множество $I = \{1, 2, \dots, n\}$ агентов, X – множество альтернатив, $u_i: X \rightarrow \mathcal{R}$ – функция полезности i -го агента, $i \in I$. Агентами в данном случае являются субъекты, участвующие в заключении сделки (договора) и заинтересованные в ее результатах. Альтернатива представляет собой вариант договора, оцениваемый каждым агентом в соответствии с его функцией полезности. Рациональность агентов отражается их стремлением к максимизации своих целевых функций.

Пусть множество возможных полезностей (utility possibility set) имеет вид

$$U = \{(u_1, u_2, \dots, u_n) \in \mathcal{R}^n \mid u_i \leq u_i(x), i \in I, x \in X\}.$$

Фиксированное распределение полезностей $u' \in U$, соответствующее отказу от заключения договора, называется *угрозой* (threat) или альтернативой *status quo*. Условие индивидуальной рациональности означает, что полезность i -го агента должна быть не менее u'_i , $i \in I$.

В рамках используемого в настоящей работе теоретико-игрового подхода $x = (y, R)$, где $y \in A$ – действие исполнителя, $R \geq 0$ – стоимость договора (сумма, выплачиваемая заказчиком исполнителю). Целевая функция заказчика предполагается равной разности между его доходом $H(y)$ и выплатами исполнителю: $\Phi(y, R) = H(y) - R$, а целевая функция исполнителя – разности между стоимостью договора и затратами $c(y)$: $f(y, R) = R - c(y)$.

Определим функцию коллективного благосостояния (Social Welfare Function) $W: U \rightarrow \mathcal{R}$ (ФКБ). Задача принятия решений заключается в выборе распределения полезностей, максимизирующего функцию коллективного благосостояния:

$$(1) W(u) \rightarrow \max_{u \in U} .$$

Исследуем, какими свойствами может и должна (с нормативной точки зрения – см. ниже) обладать ФКБ.

ФКБ называется (строго) *возрастающей*, если из того, что $u_i^1 (>) \geq u_i^2, i \in I$, следует, что $W(u^1) (>) \geq W(u^2)$.

Если ФКБ является строго возрастающей, то решение задачи (1) является Парето-оптимумом.

Можно на ФКБ также накладывать требования симметричности (относительно перестановок агентов), вогнутости и т.д.

Примерами наиболее распространенных ФКБ являются следующие.

- *утилитарная* ФКБ: $W_u(u) = \sum_{i \in I} u_i ;$

- *обобщенная утилитарная* ФКБ: $W_u(u) = \sum_{i \in I} g_i(u_i) ,$

где $\{g_i(\cdot)\}$ – возрастающие вогнутые функции;

- *эгалитарная* (максиминная) ФКБ:

$$W_e(u) = \min \{u_1, u_2, \dots, u_n\};$$

- *обобщенная эгалитарная* ФКБ:

$$W_e(u) = \min \{\beta_1 u_1, \beta_2 u_2, \dots, \beta_n u_n\},$$

где $\{\beta_i\}$ – неотрицательные константы.

Частным случаем обобщенной утилитарной ФКБ (в которой $g_i(u_i) = \ln(u_i - u_i')$, $i \in I$) является *ФКБ Нэша*:

$$W_N(u) = \sum_{i \in I} \ln(u_i - u_i') .$$

Задачей торга (Nash bargaining problem) называется совокупность (U, u') . Ее *решением* $u^* = F(U, u')$ называется отображение $F: U \times \mathcal{R}^n \rightarrow U$, ставящее в соответствие множеству возможных полезностей и угрозе распределение полезностей агентов.

Решение задачи торга обычно ищется в терминах ФКБ, максимизация которой (см. задачу (1)) приводит к решению u^* , удовлетворяющему тем или иным свойствам.

Аксиоматический подход в теории принятия решений в общем случае заключается в задании набора аксиом, однозначно определяющего соответствующее правило принятия решений. Другими словами, в рамках этого подхода набор аксиом должен давать

необходимые и достаточные условия существования единственного (или отсутствия вообще) правила принятия решений.

В задаче торга правило принятия решений определяется ФКБ. Дж. Нэшем доказано [119] (см. современное изложение в [59, 115, 118, 120]), что единственным решением, удовлетворяющим следующим аксиомам:

- *индивидуальной рациональности* (Individual Rationality: $u_i^* \geq u'_i, i \in I$);
- *оптимальности по Парето* (Pareto-optimality);
- *независимости от линейного преобразования полезности* (Independence from Linear Transformations: если множество W получено из множества U линейным преобразованием полезности: $w_i = a_i u_i + b_i, a_i > 0, i \in I$, то $F(W, w^*) = a u^* + b \in W$);
- *независимости от посторонних альтернатив* (Independence from Irrelevant Alternatives: если $u^* \in W, u' \in W, W \subseteq U$, то из $u^* \in F(U, u')$ следует, что $u^* = F(W, u')$);
- *симметричности* (Symmetry: если множество возможных полезностей симметрично относительно перестановок агентов и все угрозы одинаковы, то одинаковы и полезности агентов),

является ФКБ Нэша.

Развитию и обобщению этого результата посвящена многочисленная литература (см. обзоры в [59, 122], а также [110, 111, 125 и др.]). С точки зрения настоящего исследования можно констатировать, что полученные в рамках аксиоматического подхода результаты теории принятия решений могут быть использованы для определения (быть может, посредством явного задания ФКБ – см. ниже) конкретных параметров договора, то есть точки внутри области компромисса.

В рамках теоретико-игровой модели аналогом ФКБ является сумма целевых функций заказчика и исполнителя, следовательно решением задачи (1) является действие исполнителя, максимизирующее разность между доходом заказчика и затратами исполнителя:

$$(2) y^* = \arg \max_{y \in A} \{H(y) - c(y)\}.$$

Величину

$$(3) \Delta = H(y^*) - c(y^*)$$

можно интерпретировать как «прибыль» системы в целом – максимальный суммарный результат (в единицах полезности), который может быть достигнут при взаимодействии данных заказчика и исполнителя.

Обозначим «угрозы» $u'_1 = \min_{y \in A} H(y)$, $u'_2 = \min_{y \in A} c(y)$ (единица

обозначает первого игрока – заказчика, двойка – второго игрока – исполнителя). Тогда в терминах теории принятия решений задача определения параметров договора заключается в нахождении полезностей u_1 и u_2 , удовлетворяющих следующим ограничениям:

$$(4) u_i \geq u'_i, i = 1, 2,$$

$$(5) u_1 + u_2 = \Delta.$$

Если, как это делается обычно в моделях стимулирования [49, 68], предположить, что резервные полезности равны нулю, то есть $u'_1 = u'_2 = 0$, то получаем, что стоимость договора R должна удовлетворять следующему соотношению:

$$(6) R \in [c(y^*); H(y^*)].$$

Отметим, что решение (6) задачи (4)-(5) в общем случае отличается от решения, даваемого ФКБ Нэша. Одна из причин этого различия заключается в том, что в теоретико-игровой модели договорных отношений рассматривается иерархическая игра типа Γ_2 [35, 40] с побочными платежами, в которой стоимость договора является функцией от действий исполнителя: $R = \sigma(y)$, $\sigma: A \rightarrow \mathbb{R}_+^1$. В моделях же теории принятия решений рассматривается «обычная» игра, исходом которой является некооперативное равновесие Нэша.

Таким образом, с точки зрения теории принятия решений задача торга заключается в нахождении такой альтернативы, которая обеспечивала бы эффективное по Парето равновесие Нэша игры участников договора, удовлетворяющее условиям индивидуальной рациональности. Множество таких равновесий может интерпретироваться как **область компромисса** – множество альтернатив (или распределений полезности), с которым априори согласны все стороны договора. Конкретные параметры договора – **точка компромисса**, принадлежащая области компромисса, определяется в

теории принятия решений аксиоматически, то есть – введением ФКБ, удовлетворяющей тем или иным свойствам. Процедуру выбора точки компромисса назовем **механизмом компромисса**.

В теоретико-игровых моделях задача определения параметров договора заключается в нахождении такой альтернативы, которая обеспечивала бы эффективное по Парето равновесие иерархической игры участников договора, удовлетворяющее условиям индивидуальной рациональности. Множество таких равновесий (4)-(6) является областью компромисса, а выбор точки компромисса определяется используемым механизмом компромисса. Механизмы компромисса в теоретико-игровых моделях договорных отношений могут, в том числе, использовать аксиоматические подходы теории принятия решений.

Следовательно, ключевым отличием теоретико-игровых моделей договорных отношений, рассматриваемых в настоящей работе, от задачи о торге (исследуемой в теории принятия решений), является то, что в первом случае договор моделируется иерархической игрой, в которой стоимость договора является функцией от действий исполнителя.

5. МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДОГОВОРА

Настоящий раздел посвящен описанию теоретико-игровых моделей и методов определения параметров договора. Базовым инструментом исследования является детально изученная в теории активных систем задача стимулирования [49, 68].

Задача стимулирования заключается в нахождение такой зависимости вознаграждения управляемого субъекта со стороны управляющего органа, которая побуждала бы первого предпринимать действия в интересах последнего. Аналогия с договорными отношениями прямая – заказчик назначает зависимость стоимости договора (размера вознаграждения исполнителя) от действий последнего, и оговаривает, каких действий от него следует ожидать (соответственно, параметры R и u^* модели договора).

Ключевым понятием в теоретико-игровых моделях договорных отношений является *область компромисса* – множество индивидуально рациональных и равновесных значений полезностей заказчиков и исполнителей. Определение параметров договора состоит из двух этапов – поиска области компромисса и нахождение определенной *точки компромисса*, внутри этой области, характеризующей конкретный договор. Если область компромисса состоит более чем из двух точек, то на втором этапе возникает проблема выбора точки компромисса. Выбор точки компромисса может осуществляться на основании определенных (и иногда согласовываемых заказчиками и исполнителями заранее) правил и процедур – *механизмов компромисса*.

Изложение материала настоящего раздела имеет следующую структуру. Сначала описывается модель взаимодействия одного заказчика с одним исполнителем (раздел 5.1): строится область компромисса, обсуждаются возможные механизмы компромисса. Особое внимание (в разделе 5.2) уделяется механизмам определения параметров договора, основывающихся на нормативах рентабельности. Затем по той же схеме исследуются договоры между одним заказчиком и несколькими исполнителями и между одним

исполнителем и несколькими заказчиками (раздел 5.3). В разделе 5.4 исследуются многоуровневые системы договоров.

5.1. ОБЛАСТЬ КОМПРОМИССА: БАЗОВАЯ МОДЕЛЬ

Рассмотрим *организационную систему* (ОС), состоящую из одного управляющего органа – *центра (заказчика)* – на верхнем уровне иерархии и одного управляемого субъекта – *агента (исполнителя)* на нижнем уровне. *Участники ОС*, то есть заказчик и исполнитель, обладают свойством *активности* – способностью самостоятельного выбора действий (стратегий).

Механизмом функционирования ОС называется совокупность правил, законов и процедур, регламентирующих взаимодействие участников системы. *Механизмом стимулирования* называется правило принятия решений заказчиком относительно стимулирования исполнителя (размера вознаграждения, выплачиваемого последнему по договору). Механизм стимулирования включает в себя *систему стимулирования*, которая в рамках моделей, рассматриваемых в настоящей работе, полностью определяется *функцией стимулирования*, задающей зависимость вознаграждения исполнителя от выбираемых им действий. Поэтому в дальнейшем при рассмотрении теоретико-игровых моделей будем употреблять термины «механизм стимулирования», «система стимулирования» и «функция стимулирования» как синонимы.

Стратегией исполнителя является выбор *действия* $y \in A$, принадлежащего множеству допустимых действий A . В моделях договорных отношений действием является состояние системы (см. третий раздел), например, объем работ по договору.

Стратегией заказчика является выбор *функции стимулирования* $\sigma(y) \in M$, принадлежащей допустимому множеству M и ставящей в соответствие действию исполнителя некоторое неотрицательное вознаграждение, выплачиваемое ему заказчиком, то есть $\sigma: A \rightarrow \mathcal{R}_1^+$. В моделях договорных отношений функция стимулирования отражает зависимость стоимости договора (размера вознаграждения, получаемого исполнителем от заказчика), например, от объема работ, выполненных исполнителем.

Выбор действия $y \in A$ требует от исполнителя *затрат* $c(y)$ и приносит заказчику *доход* $H(y)$. *Функцию затрат исполнителя* $c(y)$ и *функцию дохода заказчика* $H(y)$ будем считать известными (проблемы их идентификации обсуждаются в [9, 49, 68]).

Интересы участников организационной системы (заказчика и исполнителя) отражены их *целевыми функциями*, которые обозначим соответственно $\Phi(\cdot)$ и $f(\cdot)$ (функциями выигрыша, полезности и т.д., в записи которых зависимость от стратегии заказчика будет опускаться), представляющими собой: для исполнителя – разность между стимулированием и затратами

$$(1) f(y) = \sigma(y) - c(y);$$

а для заказчика – разность между доходом и *затратами заказчика на стимулирование* – вознаграждением, выплачиваемым исполнителю:

$$(2) \Phi(y) = H(y) - \sigma(y).$$

Введем следующие **предположения**, которых будем придерживаться, если не оговорено особо, в ходе дальнейшего изложения.

Во-первых, будем считать, что множество возможных действий исполнителя составляет положительную полуось. Отказу исполнителя от заключения договора с заказчиком (бездействию) соответствует нулевое действие.

Во-вторых, относительно функции затрат исполнителя предположим, что она не убывает, непрерывна, а затраты от выбора нулевого действия равны нулю (иногда дополнительно будем требовать, чтобы функция затрат была выпукла и непрерывно дифференцируема).

В третьих, допустим, что функция дохода заказчика непрерывна, неотрицательна, и доход заказчика в случае отказа исполнителя от заключения договора (выборе последним нулевого действия) равен нулю¹.

Рациональное поведение участника ОС заключается в максимизации (выбором собственной стратегии) его целевой функции с учетом всей имеющейся у него информации – так называемая *гипотеза рационального поведения* [16, 27, 34, 78] (ГРП).

¹ Если полезность заказчика (или исполнителя) в случае незаключения договора отлична от нуля, то она аддитивно учитывается в приводимых ниже оптимальных решениях (стоимости договора).

Определим *информированность участников ОС* и *порядок функционирования*. Будем считать, что на момент принятия решения (выбора стратегии) участникам ОС известны все целевые функции и все допустимые множества. Специфика теоретико-игровой задачи стимулирования заключается в том, что в ней фиксирован порядок ходов (игра Γ_2 с побочными платежами в терминологии теории иерархических игр [35, 38, 46, 50]): заказчик обладает правом первого хода, сообщая исполнителю выбранную им функцию стимулирования, после чего при известной стратегии заказчика исполнитель выбирает свое действие, максимизирующее его целевую функцию.

В качестве примера рассмотрим упрощенную модель *трудо-вого контракта* (трудового договора), заключаемого между работником (агентом) и некоторой организацией (центром) и являющегося, как правило, документом, в котором отражено следующее: центр обязуется обеспечить условия работы и выплатить вознаграждение, прямо или косвенно зависящее от результатов деятельности (действий) исполнителя. Помимо этого, в контракте оговариваются права и обязанности исполнителя, в том числе – выбор каких действий он может и обязуется производить и т.д.

Таким образом, стратегией центра является выбор системы стимулирования, стратегией исполнителя – выбор действия. Условия контракта (его содержание) известны обеим сторонам. Информированность участников следующая. На момент принятия решений (о том, какую систему стимулирования центру следует установить для того или иного агента) центр имеет информацию о том, какие действия этот агент может выбирать (множество его допустимых (возможных) действий) и о предпочтениях агента (его целевой функции) на этом множестве. Помимо этого центру, естественно, известны свои собственные предпочтения и ограничения (в том числе, институциональные) на множество допустимых функций стимулирования. Агент на момент принятия решения о том, какое действие ему следует выбрать, знает свои предпочтения и множество своих возможных действий, а также выбранную центром систему стимулирования, то есть функциональную зависимость вознаграждения от действий. Порядок функционирования

следующий: заключается контракт, затем агент выбирает свое действие, после чего производятся выплаты.

Завершив обсуждение примера трудового договора, вернемся к анализу теоретико-игровой модели.

Так как значение целевой функции исполнителя зависит как от его собственной стратегии – действия, так и от функции стимулирования, то в рамках принятой гипотезы рационального поведения исполнитель будет выбирать действия, которые при заданной системе стимулирования максимизируют его целевую функцию. Понятно, что множество таких действий, называемое множеством *реализуемых действий*, зависит от используемой заказчиком системы стимулирования.

Так как целевая функция заказчика зависит от действия, выбираемого исполнителем, то *эффективностью системы стимулирования* является значение целевой функции заказчика на множестве действий исполнителя, реализуемых данной системой стимулирования. Следовательно, задача стимулирования заключается в том, чтобы выбрать оптимальную систему стимулирования – имеющую максимальную эффективность. Приведем формальные определения.

Множество действий исполнителя, доставляющих максимум его целевой функции (и, естественно, зависящее от функции стимулирования), называется *множеством решений игры* или *множеством действий, реализуемых данной системой стимулирования*¹:

$$(3) P(\sigma) = \text{Arg max}_{y \in A} \{ \sigma(y) - c(y) \}.$$

Зная, что исполнитель выбирает действия из множества (3), заказчик должен найти систему стимулирования, которая максимизировала бы его собственную целевую функцию. Так как множество $P(\sigma)$ может содержать более одной точки, необходимо доопределить (с точки зрения предположений заказчика о поведении исполнителя) выбор исполнителя. Если не оговорено особо, то в ходе последующего изложения будем считать выполненной *гипотезу благожелательности* (ГБ), которая заключается в следующем: если исполнитель безразличен между выбором несколь-

¹ Всюду при использовании максимумов и минимумов предполагается, что они достигаются.

ких действий (например, действий, на которых достигается глобальный максимум его целевой функции), то он выбирает из этих действий то действие, которое наиболее благоприятно для заказчика [11, 21, 22, 24].

Итак, в рамках ГБ исполнитель выбирает из множества (3) наиболее благоприятное для заказчика действие, следовательно, *эффективность системы стимулирования* $\sigma \in M$ равна:

$$(4) K(\sigma) = \max_{y \in P(\sigma)} \Phi(y)$$

где $\Phi(y)$ определяется (2).

Если отказаться от гипотезы благожелательности, то следует вместо эффективности (4) стимулирования использовать *гарантированную эффективность* $K_g(\sigma) = \min_{y \in P(\sigma)} \Phi(y)$.

Прямая задача синтеза оптимальной системы стимулирования заключается в выборе допустимой системы стимулирования, имеющей максимальную эффективность:

$$(5) K(\sigma) \rightarrow \max_{\sigma \in M},$$

или максимальную гарантированную эффективность:

$$K_g(\sigma) \rightarrow \max_{\sigma \in M}.$$

Система стимулирования $\sigma^*(\cdot)$, являющаяся решением задачи (5), то есть имеющая максимальную эффективность, называется *оптимальной*:

$$\sigma^*(\cdot) = \arg \max_{\sigma \in M} K(\sigma).$$

Обратная задача стимулирования заключается в поиске множества систем стимулирования, реализующих заданное действие, или в более общем случае – заданное множество действий $A^* \subseteq A$. Например, при $A^* = \{y^*\}$ обратная задача может заключаться в поиске множества $M(y^*)$ систем стимулирования, реализующих это действие, то есть $M(y^*) = \{\sigma \in M \mid y^* \in P(\sigma)\}$. Определив $M(y^*)$, заказчик имеет возможность найти в этом множестве «минимальную» систему стимулирования, то есть реализующую заданное действие с минимальными затратами на стимулирование, или систему стимулирования, обладающую какими-либо другими

заданными свойствами, например – монотонность, линейность и т.д.

Следует отметить, что введенные выше предположения согласованы в следующем смысле. Исполнитель всегда может выбрать нулевое действие, не требующее от него затрат (второе предположение) и приносящее нулевой доход заказчику (третье предположение). В то же время, заказчик имеет возможность ничего не платить ему за выбор этого действия.

Во всех содержательных интерпретациях теоретико-игровых моделей стимулирования (см. обзоры [15, 16, 65] по теории контрактов и [68, 71, 98, 107-109]) предполагается, что у исполнителя имеется альтернатива – сохранить статус-кво, то есть не вступать во взаимоотношения с заказчиком (не заключать трудового контракта). Отказываясь от участия в данной ОС, исполнитель не получает вознаграждения от заказчика и всегда имеет возможность выбрать нулевое действие, обеспечив себе неотрицательное (точнее – нулевое) значение целевой функции. Если вне данной ОС исполнитель может гарантированно получить полезность $\bar{U} \geq 0$ (*резервную полезность* – reservation wage utility), то и при участии в данной ОС ему должен быть гарантирован не меньший уровень полезности. С учетом резервной полезности множество (3) реализуемых действий примет вид

$$(6) P(\sigma, \bar{U}) = \text{Arg} \max_{\{y \in A \mid \sigma(y) \geq c(y) + \bar{U}\}} \{\sigma(y) - c(y)\}.$$

Далее для простоты, если не оговорено особо, без ограничения общности [49] будем считать резервную полезность равной нулю.

Сделав маленькое отступление, обсудим более подробно модель процесса принятия решений исполнителем. Предположим, что некоторый исполнитель предполагает заключить договор с некоторым заказчиком. Ему предлагается *контракт* $\{\sigma(y), y^*\}$, в котором оговаривается зависимость $\sigma(\cdot)$ вознаграждения от результатов y его деятельности, а также то, какие конкретные результаты y^* от него ожидаются. При каких условиях исполнитель подпишет контракт, если обе стороны – и исполнитель, и заказчик принимают решение о подписании контракта самостоятельно и добровольно? Рассмотрим сначала принципы, которыми может руководствоваться исполнитель.

Первое условие – *условие согласованности стимулирования* (incentive compatibility constraint), которое заключается в том, что при участии в контракте выбор именно действия u^* (а не какого-либо другого допустимого действия) доставляет максимум его целевой функции (функции полезности). Другими словами, это – условие того, что система стимулирования согласована с интересами и предпочтениями исполнителя.

Второе условие – *условие участия* в контракте (иногда его называют *условием индивидуальной рациональности* – individual rationality constraint), которое заключается в том, что, заключая данный контракт, исполнитель ожидает получить полезность, большую, чем он мог бы получить, заключив другой контракт с другой организацией (с другим заказчиком).

Аналогичные (приведенным выше для исполнителя) условия согласованности и индивидуальной рациональности можно сформулировать и для заказчика. Если имеется единственный исполнитель – претендент на заключение контракта, то контракт будет выгоден для заказчика, если выполнены два условия.

Первое условие (аналогичное условию согласованности стимулирования) отражает согласованность системы стимулирования с интересами и предпочтениями заказчика, то есть применение именно фигурирующей в контракте системы стимулирования должно доставлять максимум целевой функции (функции полезности) заказчика (по сравнению с использованием любой другой допустимой системы стимулирования) – см. (4).

Второе условие для заказчика аналогично условию участия для исполнителя, а именно – заключение контракта с данным исполнителем выгодно для заказчика по сравнению с сохранением статус-кво, то есть отказу от заключения контракта вообще. Например, если считать, что прибыль предприятия (значение целевой функции заказчика) без заключения контракта равна нулю, то при заключении контракта прибыль должна быть неотрицательна.

Если претендентов на заключение контракта несколько, то заказчику необходимо учитывать третье условие – наиболее выгодно должно быть заключение контракта именно с данным (а не каким-либо другим) исполнителем или множеством исполнителей – см. модели формирования состава в [39, 64, 68] и ниже.

Легко видеть, что в рамках введенных предположений при заключении и выполнении условий договора исполнителю гарантируется, как минимум, нулевое значение полезности. Условие неотрицательности полезности исполнителя:

$$(7) \forall y \in P(\sigma) f(y) \geq 0$$

является условием индивидуальной рациональности. Следовательно, как минимум, реализуемыми будут такие действия, при выборе которых значения целевой функции исполнителя будут неотрицательны (см. (6)):

$$(8) P_d(\sigma) = \{y \in A \mid \sigma(y) \geq c(y)\} \supseteq P(\sigma).$$

Предположим, что функция $H(\cdot)$ дохода заказчика – возрастающая и вогнутая (свойство убывающей предельной полезности), а функция $c(\cdot)$ затрат исполнителя – выпуклая (предельные затраты увеличиваются с ростом действия). На рисунке 4 изображены графики функций: $H(y)$ и $(c(y) + \bar{U})$. С точки зрения заказчика стимулирование не может превышать доход, получаемый им от деятельности исполнителя (так как, отказавшись от взаимодействия с исполнителем, заказчик всегда может получить нулевую полезность). Следовательно, допустимое решение лежит ниже функции $H(y)$. С точки зрения исполнителя стимулирование не может быть меньше, чем сумма затрат и резервная полезность (которую исполнитель всегда может получить, выбирая нулевое действие). Следовательно, допустимое решение лежит выше функции $(c(y) + \bar{U})$.

Множество действий исполнителя и соответствующих значений вознаграждений, удовлетворяющих как для заказчика, так и для исполнителя одновременно всем перечисленным выше ограничениям (согласования, индивидуальной рациональности и др.) называется «*область компромисса*» [68] и заштрихована на рисунке 4. При этом реализуемыми оказываются действия исполнителя из следующего множества:

$$(9) S = \{x \in A \mid H(x) - c(x) - \bar{U} \geq 0\}.$$

Легко видеть, что при неизменных функциях дохода и затрат с ростом величины \bar{U} область компромисса вырождается.

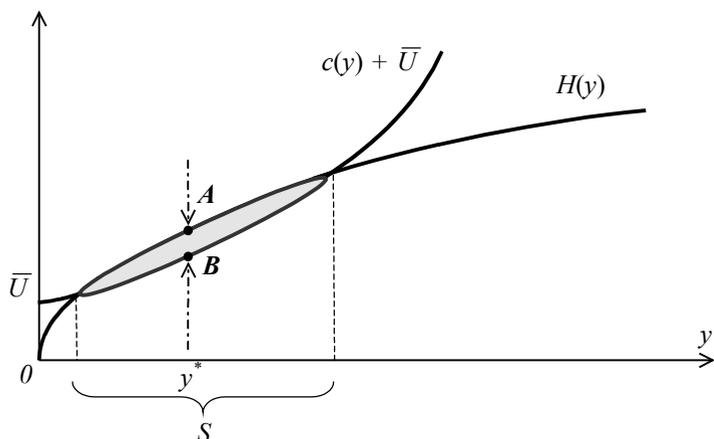


Рис. 4. Область компромисса

Так как заказчик стремится минимизировать выплаты исполнителю, при условии, что последний выбирает требуемое действие, то оптимальная точка должна лежать на нижней границе области компромисса, то есть с точки зрения заказчика стимулирование в точности должно равняться сумме затрат исполнителя и резервной полезности. Этот важный вывод получил в литературе название «*принцип компенсации затрат*» [49, 69, 71]. В соответствии с этим принципом, для того, чтобы побудить исполнителя выбрать определенное действие, заказчику достаточно, помимо резервной полезности, компенсировать затраты исполнителя. Помимо компенсации затрат, заказчик может устанавливать также мотивирующую надбавку¹ $\delta \geq 0$.

Следовательно, для того, чтобы исполнитель выбрал действие $x \in A$, стимулирование со стороны заказчика за выбор этого действия должно быть равно

$$(10) \sigma(x) = c(x) + \bar{U} + \delta.$$

¹ С точки зрения формальной модели стимулирования достаточно, чтобы материальное стимулирование со стороны заказчика компенсировало затраты исполнителя. Мотивирующая надбавка $\delta \geq 0$ может отражать мотивационные (психологические и др.) аспекты управления или отражать норматив рентабельности исполнителя работ по договору.

Легко видеть, что, если в противном случае (то есть при выборе исполнителем другого действия) вознаграждение равно нулю, то выполнены как условия согласованности стимулирования, так и условие индивидуальной рациональности исполнителя. При этом стимулирование со стороны заказчика является минимально возможным. Следовательно, доказано, что параметрическим (с параметром $x \in A$) **решением задачи стимулирования** (5) является следующая система стимулирования

$$(11) \sigma_{QK}(x, y) = \begin{cases} c(x) + \bar{U} + \delta, & y = x \\ 0, & y \neq x \end{cases},$$

которая называется *квазикомпенсаторной*.

На практике распространены случаи, когда затраты исполнителя неизвестны достоверно заказчику. Пусть, например, заказчику известно, что функция затрат исполнителя $c(y, r)$ зависит от параметра $r \in \Omega$, про который первый знает достоверно только область его возможных значений. Тогда, применяя принцип максимального гарантированного результата [71, 75], получаем, что вместо (10) заказчику следует использовать следующую систему стимулирования:

$$\sigma(x) = \max_{r \in \Omega} c(x, r) + \bar{U} + \delta.$$

В случае, если на максимальную величину вознаграждения наложено ограничение $C \geq 0$, которое можно рассматривать как размер *фонда заработной платы* (ФЗП) или ограничение на максимальный размер выплат по договору, то из (10) следует, что область компромисса (9) имеет вид:

$$S = \{x \in A \mid H(x) - C - \bar{U} \geq 0\}.$$

Рассмотрим теперь, какое действие следует реализовывать заказчику, то есть каково оптимальное значение $x \in A$.

Так как в силу (10)-(11) стимулирование равно затратам исполнителя, то оптимальным реализуемым действием y^* является действие, максимизирующее в области компромисса разность между доходом заказчика и затратами исполнителя. Следовательно, оптимальное реализуемое действие может быть найдено из решения следующей стандартной оптимизационной задачи

$$(12) y^* = \arg \max_{x \in S} \{H(x) - c(x)\},$$

которая получила название *задачи оптимального согласованного планирования* [11, 21, 22]. Действительно, то действие, которое заказчик собирается побуждать выбирать исполнителя, может интерпретироваться как *план* – желательное с точки зрения заказчика действие исполнителя. В силу принципа компенсации затрат план является согласованным, значит заказчику в силу (11) остается найти оптимальный согласованный план.

В случае неполной информированности заказчика о функции затрат исполнителя выражения (10) и (12) примут, соответственно, вид:

$$S = \{x \in A \mid H(x) - \max_{r \in \Omega} c(x, r) - \bar{U} \geq 0\},$$

$$y^* = \arg \max_{x \in S} \{H(x) - \max_{r \in \Omega} c(x, r)\}.$$

Условие оптимальности в рассматриваемой модели (в предположении дифференцируемости функций дохода и затрат, а также вогнутости функции дохода заказчика и выпуклости функции затрат исполнителя) имеет вид: $\frac{dH(y^*)}{dy} = \frac{dc(y^*)}{dy}$. Величина $\frac{dH(y)}{dy}$

в экономике называется предельной производительностью исполнителя (MRP), а величина $\frac{dc(y^*)}{dy}$ – его предельными затратами

(MC). Условие оптимума (MRP = MC) – определяет так называемую *эффективную стоимость договора*.

Отметим еще одну важную содержательную интерпретацию условия (11). Оптимальный план y^* максимизирует разность между доходом заказчика и затратами исполнителя, то есть доставляет максимум суммы целевых функций (1) и (2) участников ОС, и, следовательно, является эффективным по Парето.

Область компромисса является чрезвычайно важным понятием. Ее непустота отражает наличие возможности согласования интересов заказчика и исполнителя в существующих условиях. Поясним последнее утверждение.

В формальной модели стратегии участников ограничены соответствующими допустимыми множествами. Учет ограничений

индивидуальной рациональности исполнителя и заказчика, а также условий согласования, приводит к тому, что множество «рациональных» стратегий (см. также концепцию ограниченной рациональности в [87]) – область компромисса – оказывается достаточно узкой.

Фактически, компромисс между заказчиком и исполнителем заключается в дележе полезности, равной разности полезностей в точках А и В на рисунке 4. Делая первый ход (предлагая контракт), заказчик «забирает» эту разность себе, вынуждая исполнителя согласиться с резервным значением полезности. Легко проверить, что в противоположной ситуации, когда первый ход делает исполнитель, предлагая контракт заказчику, нулевую полезность получает заказчик, а исполнитель «забирает» разность полезностей между точками А и В себе [68].

В практике управления проектами с точки зрения рассматриваемой модели прибыль исполнителя (значение его целевой функции) равна нулю. Дело в том, что при определении стоимости договора (в строительных договорах – при составлении смет), как правило, пользуются стандартными расценками, учитывающими как себестоимость работ, так и прибыль исполнителя. В явном виде «прибыль» может фигурировать в многоуровневой системе, когда генподрядчик получает заранее оговоренный агентский процент от стоимости договора (см. также раздел 5.2, в котором рассматриваются договоры с нормативом рентабельности). Тем не менее, возможны случаи, когда размер превышения прибылью исполнителя нулевого значения является предметом специальной договоренности между заказчиком и исполнителем. Приведем соответствующую модель.

Точки А и В на рисунке 4 являются «пределными» случаями, в которых вся «прибыль»

$$(13) \Delta = H(y^*) - c(y^*) - \bar{U}$$

достается, соответственно, либо исполнителю, либо заказчику. Значительный интерес представляют промежуточные случаи, в которых величина Δ делится между заказчиком и исполнителем в соответствии с некоторым правилом, взаимная договоренность о котором – механизм компромисса – является *компромиссом* и достигается в результате *переговоров* [58, 89]. Примерами подоб-

ных правил являются: *равное распределение* (при котором заказчик и исполнитель получают по $\Delta/2$), *принцип равных рентабельностей*:

$$[H(y^*) - \sigma(y^*)] / \sigma(y^*) = [\sigma(y^*) - c(y^*)] / c(y^*),$$

при котором размер вознаграждения является средним геометрическим между доходом заказчика и затратами исполнителя, и др. [13, 36, 59].

Таким образом, мы доказали справедливость следующего утверждения:

Утверждение 1. В модели с одним исполнителем и одним заказчиком:

а) оптимальный договор имеет вид: $R = \sigma_{OK}(y^*, y^*)$, где y^* определяется выражением (12);

б) область компромисса определяется выражениями (9) и (13).

Механизм компромисса при этом может заключаться в использовании любого из известных в теории принятия решений механизма распределения ресурса (затрат) – см. выше и [13, 14, 36, 39, 43, 59, 83, 110, 111, 115-118, 125].

5.2. ДОГОВОРЫ С НОРМАТИВОМ РЕНТАБЕЛЬНОСТИ

Особого внимания, в силу широкой распространенности на практике, заслуживает случай, когда в условиях договора производится фиксация норматива рентабельности $\rho \geq 0$ исполнителя, то есть ситуация, когда стоимость договора зависит от действий исполнителя следующим образом:

$$(1) \sigma_\rho(x, y) = \begin{cases} (1 + \rho) c(x), & y = x \\ 0, & y \neq x \end{cases}$$

Предполагая, что ограничения на ФЗП отсутствуют, и резервная полезность исполнителя равна нулю, получаем, что задача оптимального согласованного планирования примет вид:

$$(2) y^*(\rho) = \arg \max_{y \in A} \{H(y) - (1 + \rho) c(y)\}.$$

Следовательно

$$(3) \Delta(\rho) = H(y^*(\rho)) - (1 + \rho) c(y^*(\rho)).$$

Сравнивая выражения (3) настоящего раздела и (13) предыдущего раздела, можно сделать вывод, что $\forall \rho \geq 0 \Delta(\rho) \leq \Delta$.

Таким образом, мы доказали справедливость следующего утверждения:

Утверждение 2. В модели с одним исполнителем и одним заказчиком при использовании норматива рентабельности:

а) оптимальный договор имеет вид: $R = \sigma_{OK}(y^*, y^*)$, где y^* определяется выражением (2);

б) область компромисса определяется выражением (3), причем исполнитель получает гарантированную прибыль $\rho c(y^*(\rho))$;

в) прибыль заказчика не выше, чем при заключении договора на условиях (11)-(12) предыдущего раздела.

Рассмотрим иллюстративный пример. Пусть $H(y) = y$, $c(y) = y^2 / 2r$. Тогда $y^*(\rho) = r / (1 + \rho)$, $\Delta(\rho) = r / 2 (1 + \rho)$. Из условий индивидуальной рациональности следует, что $\rho \geq 0$. В рассматриваемом примере прибыль исполнителя $\rho c(y^*(\rho))$ достигает максимума при $\rho = 1$, то есть исполнителю выгодно вдвое завысить стоимость выполняемых работ. Если прибылью заказчика считать $\Delta(\rho)$, то, очевидно, что с его точки зрения наиболее предпочтителен нулевой норматив рентабельности, при котором выражение (1) перейдет в выражение (11) предыдущего раздела, а выражение (2) – в выражение (12) предыдущего раздела.

Завершив рассмотрение примера, получим условия на норматив рентабельности, при которых полезности и исполнителя, и заказчика при использовании механизмов (11)-(12) предыдущего раздела и (1)-(2) совпадают.

В первом случае полезности заказчика и исполнителя u_1 и u_2 удовлетворяют следующим условиям:

$$(4) u_1 + u_2 = \Delta, u_1 \geq 0, u_2 \geq 0.$$

Во втором случае (при использовании норматива рентабельности ρ) полезности заказчика и исполнителя $u_{1\rho}$ и $u_{2\rho}$ удовлетворяют следующим условиям:

$$(5) u_{1\rho} + u_{2\rho} = \Delta(\rho), u_{1\rho} \geq 0, u_{2\rho} \geq 0, u_{2\rho} = u_{20\rho} + \rho c(y^*(\rho)).$$

Пусть в исходном механизме реализована некоторая точка компромисса (u_1, u_2) . Из (4) получаем, что эта точка может быть однозначно описана числом $\xi \in [0; 1]$: $u_1 = (1 - \xi) \Delta$, $u_2 = \xi \Delta$.

Выберем $\xi_\rho \in [0; 1]$: $u_{1\rho} = (1 - \xi_\rho) \Delta(\rho)$, $u_{2\rho} = \xi_\rho \Delta(\rho)$, таким что

$$(6) \xi_\rho = I - \frac{(1 - \xi)\Delta}{\Delta(\rho)}.$$

Следовательно, эквивалентным нормативом рентабельности будет значение $\rho(\xi)$, удовлетворяющее следующему уравнению

$$(7) \Delta(\rho) + \rho c(y^*(\rho)) = \Delta.$$

Легко видеть, что тривиальным решением системы (6)-(7) является: $\rho = 0$, $\xi_\rho = \xi$. Механизм компромисса с нулевым нормативом рентабельности будем называть *тривиальным*. Чтобы уйти от тривиального решения, предположим, что в механизме с нормативом рентабельности $\xi_\rho = 0$, то есть

$$(8) u_{1\rho} = \Delta(\rho), u_{2\rho} = \rho c(y^*(\rho)).$$

Получаем, что для того, чтобы выполнялось $u_1 = u_{1\rho}$, $u_2 = u_{2\rho}$, должно иметь место, опять же, условие (7). Таким образом, обоснована справедливость следующего утверждения.

Лемма 1. Условие (7) является достаточным для выполнения условий $u_1 = u_{1\rho}$, $u_2 = u_{2\rho}$.

Утверждение 3. Для любого механизма компромисса в системе, в которой функция дохода заказчика линейна, а функция затрат исполнителя является обобщенной функцией Кобба-Дугласа¹, не существует эквивалентного нетривиального механизма компромисса с нормативом рентабельности.

Доказательство утверждения 3. Вычисляем последовательно:

$$y^*(\rho) = r \varphi^{r-1}(I / (I + \rho)),$$

$$(9) \Delta = r [\varphi^{r-1}(I) - \varphi(\varphi^{r-1}(I))],$$

$$(10) \Delta(\rho) + \rho c(y^*(\rho)) = r [\varphi^{r-1}(I / (I + \rho)) - \varphi(\varphi^{r-1}(I / (I + \rho)))].$$

Подставляя (9) и (10) в (7), получаем, что

$$\varphi^{r-1}(I) - \varphi(\varphi^{r-1}(I)) = \varphi^{r-1}(I / (I + \rho)) - \varphi(\varphi^{r-1}(I / (I + \rho))).$$

В силу свойств функции затрат, получаем, что из последнего уравнения следует $I / (I + \rho) = I$, что возможно только при $\rho = 0$. Следовательно, единственным значением норматива рентабельности, удовлетворяющего достаточному (в силу леммы 1) для выполнения $u_1 = u_{1\rho}$, $u_2 = u_{2\rho}$ условию (7), является $\rho = 0$. Следовательно,

¹ Напомним, что обобщенной функцией затрат типа Кобба-Дугласа называется функция $c(y, r) = r \varphi(y/r)$, где $r \geq 0$ – константа, отражающая эффективность деятельности исполнителя, а $\varphi(\cdot)$ – некоторая гладкая строго монотонно возрастающая выпуклая функция, такая, что $\varphi(0) = 0$.

для рассматриваемого класса моделей не существует эквивалентного механизма компромисса с ненулевым нормативом рентабельности. Утверждение 3 доказано.

Для рассмотренного выше примера (в котором $H(y) = y$, $c(y) = y^2 / 2r$, $y^*(\rho) = r / (1 + \rho)$, $\Delta(\rho) = r / 2 (1 + \rho)$), получаем в соответствии с (19)-(20): $\xi_\rho = 1 - (1 - \xi) (1 + \rho)$, $\rho = 0$.

Изучив механизмы компромисса (определения параметров договора) в системах с одним заказчиком и одним исполнителем, перейдем к исследованию теоретико-игровых моделей механизмов компромисса в многоэлементных системах.

5.3. ОБЛАСТЬ КОМПРОМИССА В МНОГОЭЛЕМЕНТНЫХ СИСТЕМАХ

В настоящем разделе рассматривается модель договорных отношений в многоэлементных системах, а именно – ситуации взаимодействия одного исполнителя с несколькими заказчиками или одного заказчика с несколькими исполнителями.

Один заказчик – несколько исполнителей. Данный случай описывается по аналогии с рассмотренным выше взаимодействием одного заказчика и одного исполнителя. Пусть $I = \{1, 2, \dots, n\}$ – множество исполнителей, $y_i \in A_i$ – действие i -го исполнителя, $c_i(y)$ – затраты i -го исполнителя, $\sigma_i(y)$ – стимулирование его со стороны заказчика, $y_{-i} = (y_1, y_2, \dots, y_{i-1}, y_{i+1}, \dots, y_n) \in A_{-i} = \prod_{j \neq i} A_j$ – обстановка

игры для i -го исполнителя (вектор действий всех остальных исполнителей, кроме i -го), $i \in I$, $y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$ – вектор действий исполнителей, $y \in A' = \prod_{i \in I} A_i$. Предположим, что заказчик получает

доход $H(y)$ от деятельности исполнителей.

Целевая функция заказчика $\Phi(\sigma, y)$ представляет собой разность между его доходом $H(y)$ и суммарным вознаграждением $\nu(y)$, выплачиваемым исполнителям: $\nu(y) = \sum_{i=1}^n \sigma_i(y)$, где $\sigma_i(y)$ – стиму-

лирование i -го исполнителя, $\sigma(y) = (\sigma_1(y), \sigma_2(y), \dots, \sigma_n(y))$. Целевая функция i -го исполнителя $f_i(\sigma, y)$ представляет собой разность

между вознаграждением (стимулированием), получаемым от заказчика, и затратами $c_i(y)$, то есть:

$$\Phi(\sigma, y) = H(y) - \sum_{i=1}^n \sigma_i(y), f_i(\sigma, y) = \sigma_i(y) - c_i(y), i \in I.$$

Отметим, что и индивидуальное вознаграждение, и индивидуальные затраты i -го исполнителя по выбору действия y_i в общем случае зависят от действий всех исполнителей (*случай сильно связанных агентов с несепарабельными затратами* [75]).

Относительно параметров ОС введем следующие предположения:

- множество действий каждого исполнителя совпадает со множеством неотрицательных действительных чисел;
- функции затрат исполнителей непрерывны, неотрицательны и $\forall y_i \in A_i c_i(y)$ не убывает по $y_i, i \in I$; и $\forall y_{-i} \in A_{-i} c_i(0, y_{-i}) = 0$;
- функция дохода заказчика непрерывна по всем переменным и достигает максимума при ненулевых действиях исполнителей.

Фиксируем произвольный вектор $y^* \in A'$ действий исполнителей и рассмотрим следующую систему стимулирования:

$$(1) \sigma_i(y^*, y) = \begin{cases} c_i(y_i^*, y_{-i}) + \delta_i, & y_i = y_i^* \\ 0, & y_i \neq y_i^* \end{cases}, \delta_i \geq 0, i \in I.$$

В [75] доказано, что при использовании заказчиком системы стимулирования (1) y^* – равновесие в доминантных стратегиях (РДС) игры исполнителей [40]. Более того, если $\delta_i > 0, i \in I$, то y^* – единственное РДС.

Содержательно, при использовании системы стимулирования (1) заказчик использует следующий принцип декомпозиции: он предлагает i -му исполнителю – «выбирай действие y_i^* (например, оговоренное в договоре), а я компенсирую тебе затраты, независимо от того какие действия выбрали остальные исполнители, если же ты выберешь любое другое действие, то вознаграждение будет равно нулю». Используя такую стратегию, заказчик декомпозирует игру исполнителей.

Вектор оптимальных реализуемых действий агентов y^* , фигурирующий в качестве параметра в выражении (1), определяется в

результате решения следующей задачи оптимального согласованного планирования:

$$(2) y^* = \arg \max_{t \in A'} \{H(t) - \nu(t)\},$$

где $\nu(t) = \sum_{i \in I} c_i(t)$, а эффективность системы стимулирования (1),

(2) равна следующей величине:

$$(3) K^* = H(y^*) - \sum_{i \in I} c_i(y^*) - \delta.$$

В [75] доказано, что система стимулирования (1), (2) является оптимальной, то есть, обладает максимальной эффективностью среди всех систем стимулирования. Таким образом, мы доказали справедливость следующего утверждения:

Утверждение 4. В модели с несколькими исполнителями и одним заказчиком область компромисса определяется выражениями (2) и (3).

Легко видеть, что в предельном случае (при $n = 1$) утверждение 4 переходит в утверждение 1.

Величина K^* может рассматриваться как «размер» области компромисса, то есть величина прибыли, которую делят между собой заказчик и исполнитель. Как и в случае одного исполнителя, если договор предлагается заказчиком, то последний забирает всю прибыль K^* себе, оставляя исполнителям полезности $\{\delta_i\}$. Если величина мотивирующей надбавки δ_i определяется с помощью норматива рентабельности ρ , то есть $\delta_i = \rho c_i(x)$, $i \in I$, то целевая функция центра примет вид

$$\Phi(x) = H(x) - (1 + \rho) \sum_{i \in I} c_i(x).$$

В этом случае оптимальное реализуемое действие

$$x^*(\rho) = \arg \max_{x \in A'} \{H(x) - (1 + \rho) \sum_{i \in I} c_i(x)\}$$

будет зависеть от норматива рентабельности и может отличаться от (2).

Один исполнитель – несколько заказчиков. Обозначим $K = \{1, 2, \dots, k\}$ – множество заказчиков, имеющих целевые функции $\Phi^i(\sigma^i, y) = H^i(y) - \sigma^i(y)$, $i \in K$.

Целевая функция единственного исполнителя имеет вид:

$$(4) f(\sigma, y) = \sum_{i \in K} \sigma^i(y) - c(y).$$

Рассмотрим стратегии заказчиков вида:

$$(5) \sigma^* i(\bar{\lambda}, y) = \begin{cases} \lambda^i, & y = y^* \\ 0, & y \neq y^* \end{cases}, i \in K,$$

где величины $\{\lambda^i\}$ удовлетворяют следующим условиям:

$$(6) \lambda^i \geq 0, i \in K; \sum_{i \in K} \lambda^i = c(y^*).$$

Обозначим

$$(7) = \max_{y \in A} \{H^i(y) - c(y)\}, i \in K,$$

$$(8) y_{\max}^i = \arg \max_{y \in A} \{H^i(y) - c(y)\}, i \in K.$$

$$(9) A = \{\bar{\lambda} \geq 0 \mid \exists x \in A: H^i(x) - \lambda^i \geq W_{\max}^i, i \in K, \sum_{i \in K} \lambda^i = c(x)\}.$$

Область (9) получила название *области компромисса* в ОС с распределенным контролем [76]. Она представляет собой множество эффективных по Парето равновесий Нэша игры заказчиков, использующих стратегии вида (5). Если область компромисса непуста, то говорят, что имеет место *режим сотрудничества* заказчиков. Обозначим множество действий исполнителя, реализуемых равновесными по Нэшу стратегиями центров

$$(10) S^K = \{x \in A \mid \exists \bar{\lambda} \geq 0: H^i(x) - \lambda^i \geq W_{\max}^i, i \in K, \sum_{i \in K} \lambda^i = c(x)\}.$$

Случай, когда множество A пусто, называется *режимом конкуренции* заказчиков.

Обозначим:

$$K^0 = \max_{y \in A} \left\{ \sum_{i \in K} H^i(y) - c(y) \right\},$$

$$x^0 = \arg \max_{y \in A} \left\{ \sum_{i \in K} H^i(y) - c(y) \right\}.$$

Необходимым и достаточным условием непустоты области компромисса является следующее условие [36]:

$$(11) \Phi^0 = K^0 - \sum_{i \in K} W_{\max}^i \geq 0.$$

Режим сотрудничества имеет место, когда множество A не пусто (для этого интересы заказчиков должны различаться не очень сильно, то есть они должны иметь возможность совместно использовать результаты деятельности исполнителя). При этом заказчики совместно компенсируют затраты исполнителя и получают полезность, превышающую полезность, получаемую каждым из них в случае заключения индивидуальных договоров с исполнителем.

Режим конкуренции появляется когда множество A пусто (для этого интересы заказчиков должны быть почти антагонистичны, что бывает в случае, когда исполнитель может «работать» только на одного заказчика). При этом один из заказчиков (содержательно – обладающий наибольшими ресурсами управления) единолично не только компенсирует затраты исполнителя, но и переплачивает ему ровно столько, чтобы обезопасить себя от возможности соглашения исполнителя на другие (более выгодные для него) условия, которые может предложить любой другой заказчик.

Интересно отметить, что режим конкуренции не выгоден ни одному из заказчиков, так как любая точка из множества A (если оно непусто) доминирует его по Парето. Тем не менее, этот режим является «равновесным», то есть при сильно различающихся интересах и отсутствии возможности согласовать свои действия (напомним, что мы рассматриваем некооперативное взаимодействие) неэффективная ситуация является единственной ситуацией, устойчивой относительно индивидуальных отклонений.

Полученный результат может быть адаптирован к иерархической системе договоров, в которой заказчики упорядочены (заказчик – генподрядчик – подрядчики и т.д.), то есть последовательно выбирают свои стратегии. Например, игра заказчиков может производиться в два этапа – сначала они согласованно выбирают действие исполнителя, которое в дальнейшем необходимо реализовать, а затем последовательно (например, по одному) выбирают свои платежи исполнителю. Если принято решение реализовать действие $y^* \in A$, и заказчики, обязанные подчиниться этому решению, упорядочены в порядке возрастания их номеров, то, очевидно, что имеет место:

$$\lambda^k = \min \{c(y^*); H^k(y^*)\},$$

$$\lambda^{k-i} = \min \{c(y^*) - \sum_{j>k-i} \lambda^j ; H^{k-l}(y^*)\}, i = \overline{1, k-1}.$$

Содержательная интерпретация такого механизма прозрачна: представим себе k -уровневую иерархическую систему управления, которая должна побудить управляемый субъект совершить некоторые действия, то есть, как минимум, компенсировать ему затраты по совершению этих действий. Если ресурс нижнего уровня управления (с номером k , отсчитываемым от самого верхнего уровня иерархии) достаточен для этого (то есть $c(y^*) \leq H^k(y^*)$), то он осуществляет управление самостоятельно, не затрагивая более высоких уровней иерархии. Если ресурс недостаточен (то есть $c(y^*) > H^k(y^*)$), то он полностью использует свой ресурс и обращается за разницей $c(y^*) - H^k(y^*)$ к представителю более высокого уровня, который поступает аналогично и т.д. Понятно, что для более адекватного отражения специфики иерархических многоуровневых ОС можно приписывать различные «ценности» единицам ресурсов различных уровней и т.д.

В соответствии с результатами [36, 76], величина Φ^0 характеризует степень согласованности интересов заказчиков, то есть ту сумму, которую необходимо доплатить или возможно изъять (в зависимости от знака выражения (11)).

Рассмотрим случай, когда множество A не пусто. Если оно состоит более чем из одной точки, то задача синтеза механизма компромисса заключается в определении конкретной реализации управлений – распределении между заказчиками суммы $c(x^0)$, которую необходимо выплатить исполнителю, то есть, выбор конкретной точки из множества A либо за счет самостоятельных договоренностей между заказчиками, либо соответствии с некоторой процедурой (правилом принятия решений). Последний подход обладает тем преимуществом, что избавляет заказчиков от необходимости вычисления равновесия (что может оказаться существенным, если их информационные ресурсы ограничены).

Механизмы распределения ресурсов составляют обширный класс процедур принятия решений в управлении организационными (активными) системами. Их частным случаем являются механизмы распределения дохода или затрат [13, 14, 19, 26, 36, 59, 69, 83, 115].

Обозначим

$$(12) \mu^l = H^l(x^0) - W_{\max}^l, l \in K.$$

Таким образом, если область компромисса не пуста, то задача определения параметров договора заключается в нахождении вектора $(\lambda^l)_{l \in K}$, удовлетворяющего и следующим условиям:

$$(13) \lambda^l \leq \mu^l, l \in K,$$

$$(14) \sum_{l \in K} \lambda^l = c(x^0).$$

Утверждение 5. В модели с несколькими заказчиками и одним исполнителем область компромисса определяется выражениями (12) и (13).

Легко видеть, что в предельном случае (при $k = l$) утверждение 5 переходит в утверждение 1.

Если имеет место полная информированность, то есть, если все стороны договора полностью и достоверно информированы обо всех целевых функциях и допустимых множествах, то *механизм распределения ресурса* (под которым мы в данном случае будем понимать удовлетворяющий (13), (14) принцип определения величин $(\lambda^l)_{l \in K}$ может задаваться различными способами. Рассмотрим некоторые из них, распространенные на практике и имеющие прозрачные содержательные интерпретации.

1. Принцип равного распределения:

$$g^l = c(x^0) / k, l \in K.$$

Принцип равного распределения может использоваться только при условии

$$\min_{l \in K} \mu^l \geq c(x^0) / k.$$

2. Приоритетный принцип ($\forall l \in K \lambda^l / \gamma^l = \text{Const}$, где $\{\gamma^l > 0\}$

– константы, отражающие приоритеты заказчиков, $\sum_{l \in K} \gamma^l = k$):

$$\lambda^l = \gamma^l c(x^0) / \sum_{i \in K} \gamma^i, l \in K.$$

Принцип приоритетного распределения может использоваться только при условии

$$\min_{l \in K} \{\mu^l / \gamma^l\} \geq c(x^0) / \sum_{i \in K} \gamma^i.$$

При равных приоритетах приоритетный принцип распределения ресурса переходит в принцип равного распределения.

3. Принцип равных прибылей ($\forall l \in K \ H^l(x^0) - \lambda^l = \text{Const}$):

$$\lambda^l = H^l(x^0) - K^0 / k^l, l \in K.$$

Принцип равных прибылей может использоваться только при условии

$$K^0 \geq k \max_{l \in K} W_{\max}^l,$$

что является гораздо более сильным требованием, чем условие $K^0 \geq \sum_{i \in K} W_{\max}^i$ непустоты области компромисса.

4. Принцип равных рентабельностей:

$$\forall l \in K \ (H^l(x^0) - \lambda^l) / \lambda^l = \text{Const}; \lambda^l = \frac{H^l(x^0)}{\sum_{i \in K} H^i(x^0)} c(x^0), l \in K.$$

Принцип равных рентабельностей может использоваться только при условии

$$\min_{l \in K} [H^l(x^0) / W_{\max}^l] \geq \sum_{i \in K} H^i(x^0) / K^0.$$

Перечисление различных механизмов определения параметров договора (принципов определения взносов заказчиков) можно продолжать и далее, используя примененную выше методику. Возможно также рассматривать процедуры с сообщением информации, когда в условиях неполной информированности параметры договоров определяются на основании сообщаемой заказчиками информации, например, о своих функциях дохода. При этом целесообразно использовать известные результаты синтеза неманипулируемых механизмов планирования [14, 69, 83].

5.4. МНОГОУРОВНЕВЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДОГОВОРАМИ

Простейшей моделью договора является детерминированная двухуровневая организационная (активная) система (ОС), состоящая из управляющего органа – центра – на верхнем уровне иерархии и управляемого субъекта – агента – на нижнем уровне, функционирующих в условиях полной информированности о всех

существенных внешних и внутренних параметрах их деятельности (описание подобных моделей приведено выше). На практике часто встречаются договоры субподряда, в которых исполнитель работ по исходному договору выступает заказчиком работ в новом договоре. Моделью такой многоуровневой системы договоров является модель многоуровневой организационной системы (ОС), рассматриваемая в настоящем разделе.

Рассмотрим трехуровневую ОС, состоящую из одного заказчика – управляющего органа (центра (Ц)) – на верхнем уровне иерархии, n подрядчиков – промежуточных центров $\{Ц_j\}$ на втором уровне, $j = \overline{1, n}$, и N управляемых объектов (субподрядчиков) – исполнителей $_{ij}$, $i = \overline{1, n_j}$, $j = \overline{1, n}$, $\sum_{j=1}^n n_j = N$, на нижнем уровне.

Будем считать, что каждый исполнитель подчинен одному и только одному центру промежуточного уровня, то есть структура подчиненности в рассматриваемой ОС имеет вид дерева¹. Совокупность центра $Ц_j$ промежуточного уровня и n_j подчиненных ему исполнителей будем называть j -ой *подсистемой*. Отметим, что всюду далее в трехуровневых ОС индекс i обозначает номер исполнителя в подсистеме, индекс j – номер подсистемы. Совокупность заказчика и промежуточных центров будем называть *мета-системой*. Условимся в дальнейшем, если не оговорено особо, называть центры второго уровня «промежуточными центрами» или « $Ц_j$ », а также, что условие, записанное для исполнителя $_{ij}$, справедливо для всех исполнителей j -ой подсистемы, а условие, записанное для $Ц_j$, справедливо для всех центров промежуточного уровня; и, в-третьих, что любая операция (например, суммирование действий, декартово произведение допустимых множеств и т.д.) над элементами подсистем и подсистемами производится, соответственно, по всем элементам подсистемы и по всем подсистемам.

Исполнитель $_{ij}$ выбирает действие $y_{ij} \in A_{ij}$. При этом он получает от j -го промежуточного центра стимулирование $\sigma_{ij}(y_j) \in M_{ij}$ и

¹ Если отказаться от этого предположения, то получим рассмотренную в предыдущем разделе модель распределенного контроля.

несет затраты $c_{ij}(y_{ij})$, где $y_j = (y_{1j}, y_{2j}, \dots, y_{n_jj}) \in A_j = \prod_{i=1}^{n_j} A_{ij}$ – вектор действий исполнителей j -ой подсистемы. Таким образом, целевая функция исполнителя_{ij} имеет вид:

$$(1) f_{ij}(y_j) = \sigma_{ij}(y_j) - c_{ij}(y_{ij}), \quad i = \overline{1, n_j}, j = \overline{1, n}.$$

Ц_j получает от деятельности исполнителей своей подсистемы доход $H_j(y_j)$, несет затраты на стимулирование $\sum_{i=1}^{n_j} \sigma_{ij}(y_j)$ и получает стимулирование $\sigma_j(Y^j) \in M_j$ от заказчика, где $Y^j = Q_j(y_j) \in A^j$ – агрегированный показатель деятельности j -ой подсистемы, $Q_j: A_j \rightarrow A^j$, то есть его целевая функция имеет вид:

$$(2) \Phi_j(y_j) = H_j(y_j) - \sum_{i=1}^{n_j} \sigma_{ij}(y_j) + \sigma_j(Y^j), \quad j = \overline{1, n}.$$

Однозначное отображение $Q_j: A_j \rightarrow A^j$, где $A_j \subseteq \mathfrak{R}^{n_j}$, $A^j \subseteq \mathfrak{R}^{m_j}$, $m_j \leq n_j$ называется *агрегированием по состоянию*. Содержательно, агрегирование соответствует такому преобразованию вектора состояний исполнителей подсистемы, при котором результат преобразования определяется однозначно и принадлежит пространству не большей размерности, чем размерность исходного пространства. Обратное отображение, естественно, в общем случае не однозначно.

Заказчик получает доход $H(Y)$, зависящий от результатов деятельности подсистем, где $Y = (Y^1, Y^2, \dots, Y^n) \in A = \prod_j A^j$, и несет затраты на стимулирование центров промежуточного уровня $\sum_{j=1}^n \sigma_j(Y^j)$, то есть, его целевая функция имеет вид:

$$(3) \Phi(Y) = H(Y) - \sum_{j=1}^n \sigma_j(Y^j).$$

Опишем порядок функционирования ОС. Сначала заказчик назначает систему стимулирования центров промежуточного уровня $\{\sigma_j(Y^j)\}$, затем каждый из промежуточных центров назначает системы стимулирования подчиненных ему исполнителей

$\{\sigma_{ij}(y_j)\}$, и, наконец, исполнители выбирают свои действия, тем самым определяя значения целевых функций всех участников системы.

Во всех моделях теории активных систем центр является *метаигроком*, обладающим властью – правом устанавливать «правила игры» (выбирать последовательность выбора стратегий и правила обмена информацией, использовать стратегии, являющиеся функциями от стратегий других игроков, и т.д.).

Следует отметить, что во всех моделях единственными параметрами, определяющими значения функций дохода и затрат всех участников системы, являются действия исполнителей или функции от этих действий. Содержательно, исполнители являются создателями некоторых благ, производство которых требует от них определенных затрат и дает всем участникам ОС некоторый доход. В рамках такой содержательной интерпретации все остальные участники ОС (заказчик и центры промежуточного уровня) никакого участия в «производстве» не принимают, выполняя лишь управляющие функции.

Будем предполагать, что информированность участников ОС на момент принятия решений следующая: исполнителю_{*j*} известны целевые функции f_{ij} и допустимые множества A_{ij} всех исполнителей, включая выбранную Π_j систему стимулирования; Π_j известны целевые функции f_{ij} и допустимые множества A_{ij} подчиненных ему исполнителей, множества возможных функций стимулирования M_{ij} , функция агрегирования $Q_j(\cdot)$, а также назначенная ему функция стимулирования $\sigma_j(\cdot)$; заказчику известны функции дохода $h_j(Y^j)$ и затрат $c_j(Y^j)$ (см. определения ниже), а также допустимые множества A^j центров промежуточного уровня и множества допустимых функций стимулирования M_j .

Принципиально важным для проводимого исследования является то, что с точки зрения заказчика целевая функция Π_j имеет вид:

$$(4) \Phi_j(Y^j) = h_j(Y^j) - c_j(Y^j) + \sigma_j(Y^j), j = \overline{1, n},$$

где $h_j(Y^j): A^j \rightarrow \mathcal{R}^d$, $c_j(Y^j): A^j \rightarrow \mathcal{R}^d$ такие, что $\forall Y^j \in A^j$ выполнено:

$$(5) \forall y_j \in A_j: Q_j(y_j) = Y^j \quad h_j(Y^j) = H_j(y_j), c_j(Y^j) = \sum_{i=1}^{n_j} \sigma_{ij}(y_j).$$

Различие (2) и (4) обусловлено тем, что заказчик в общем случае имеет агрегированные представления о моделях поведения подсистем, согласованные в смысле (5) с их «детальными» моделями. Отображения (5) называются *агрегированием по модели*. Содержательно, наличие агрегирования по состоянию приводит к тому, что любой участник ОС, находящийся на некотором промежуточном уровне иерархии «выглядит» по-разному с точки зрения участников, находящихся на более высоких и более низких уровнях. Такое различие в описании (различие в моделях поведения участника промежуточного уровня, то есть представлениях о нем с точки зрения других участников ОС) и есть агрегирование по модели. При дальнейшем изложении, если это не приводит к путанице, мы не будем оговаривать различие между агрегированием по состоянию и агрегированием по модели.

Будем считать, что все участники рассматриваемой трехуровневой ОС следуют гипотезе рационального поведения и не могут образовывать коалиций, то есть, исполнители каждой из подсистем выбирают равновесные по Нэшу стратегии при заданных функциях стимулирования, центры второго уровня и заказчик выбирают стратегии, максимизирующие их целевые функции. Отметим, что игра исполнителей j -ой подсистемы возникает из-за того, что стимулирование каждого из исполнителей в общем случае явным образом зависит от действий остальных исполнителей, входящих в эту подсистему. Игра центров промежуточного уровня возникает, даже если стимулирование каждого из них зависит только от результатов деятельности (действий) исполнителей соответствующей подсистемы, так как в общем случае имеются общие ограничения на управление (ресурс и т.д.) со стороны заказчика.

Обозначим $P_j(\{\sigma_{ij}\}) \subseteq A_j$ – множество равновесных по Нэшу стратегий исполнителей j -ой подсистемы (множество решений игры, множество действий, реализуемых системой стимулирования $\{\sigma_{ij}\}_{i=1}^{n_j}$) при использовании j -ым центром системы стимулирования $\{\sigma_{ij}\}$:

$$(6) P_j(\{\sigma_{ij}\}) = \{y_j \in A_j \mid \forall i = \overline{1, n_j} \quad \forall t_{ij} \in A_{ij} \\ \sigma_{ij}(y_{ij}, y_{-ij}) - c_{ij}(y_{ij}) \geq \sigma_{ij}(t_{ij}, y_{-ij}) - c_{ij}(t_{ij})\},$$

где $y_{-ij} = (y_{1j}, y_{2j}, \dots, y_{i-1j}, y_{i+1j}, \dots, y_{n_j})$ – обстановка для i -го исполнителя в j -ой подсистеме. Если стимулирование каждого исполнителя зависит только от его собственных действий, то есть выполнена гипотеза независимого поведения (ГНП), то $P_j(\{\sigma_{ij}\}) = \prod_{i=1}^{n_j} P_{ij}(\sigma_{ij})$, где

$$(7) P_{ij}(\sigma_{ij}) = \text{Arg max}_{y_{ij} \in A_{ij}} f_{ij}(y_{ij}).$$

Обозначим $R_j(\sigma_j)$ – множество решений игры j -ой подсистемы в рамках метасистемы:

$$(8) R_j(\sigma_j) = \{Y^j \in A^j \mid \forall t^j \in A^j \\ h_j(Y^j) - c_j(Y^j) + \sigma_j(Y^j) \geq h_j(t^j) - c_j(t^j) + \sigma_j(t^j)\},$$

$R(\{\sigma_j\})$ – множество решений игры заказчика: $R(\{\sigma_j\}) = \prod_{j=1}^n R_j(\sigma_j)$.

В двухуровневых системах задача стимулирования формулируется следующим образом (см. выше): найти допустимую систему стимулирования, которая максимизировала бы целевую функцию заказчика на множестве решений игры исполнителей. При попытке непосредственного переноса такой постановки на многоуровневые системы возникает ряд трудностей.

Несмотря на то, что оператор агрегирования $Q_j(\cdot)$ определен таким образом, что $A^j = Q_j(A_j)$, то есть $\forall y_j \in A_j \exists Y^j \in A^j$ и $\forall Y^j \in A^j \exists y_j \in A_j: Y^j = Q_j(y_j)$, ограничения на механизмы стимулирования и информированность игроков могут оказаться такими, что для некоторого j и/или некоторого $Y^j \in R_j(\sigma_j)$ не найдется $\{\sigma_{ij} \in M_{ij}\}$, таких, что $\exists y_j \in P_j(\{\sigma_{ij}\}): Q_j(y_j) = Y^j$. Иными словами, назначая некоторую систему стимулирования, заказчик не может быть уверен, что реализуемое ею действие (максимизирующее целевую функцию Ц_j) может быть обеспечено некоторой комбинацией реализуемых действий исполнителей j -ой подсистемы, реализуемых j -ым заказчиком при заданных ограничениях на механизмы стимулирования. Содержательно, этот эффект объясняется наличием агрегирования, а также тем, что центры промежуточного уровня «не могут» самостоятельно выбирать $\{Y^j\}$ – эти величины определяются действиями $\{y_j\}$ исполнителей подсистем, на кото-

рые центры промежуточного уровня могут оказывать воздействие путем стимулирования, удовлетворяющего заданным ограничениям.

$$\text{Обозначим } P_j = \bigcup_{\sigma_{ij} \in M_{ij}} P_j(\{\sigma_{ij}\}), \quad R = \bigcup_{\sigma_j \in M_j} R(\{\sigma_j\}).$$

Введем следующее предположение, которое будем считать выполненным на протяжении настоящего раздела и в рамках которого описанная выше ситуация рассогласования¹ множеств действий, реализуемых на различных уровнях, возникнуть не может.

$$\mathbf{A1.} \quad \forall Y \in R, \quad \forall j = \overline{1, n}, \quad \exists y_j \in P_j \text{ что } Y^j = Q_j(y_j).$$

В рамках предположения A.1 задача стимулирования в метасистеме имеет вид:

$$(9) \quad H(Y^*) - \sum_{j=1}^n \sigma_j(Y^{*j}) \rightarrow \max_{\{\sigma_j \in M_j\}},$$

$$(10) \quad Y^{*j} \in R_j(\sigma_j), \quad j = \overline{1, n},$$

то есть выбором системы стимулирования (поощрения или наказания участников за выбор тех или иных стратегий) заказчик побуждает центры промежуточного уровня к выбору наиболее выгодных (при заданных ограничениях) для него действий. Предположение A.1 гарантирует, что агрегаты, определяемые (10), могут быть реализованы центрами промежуточного уровня как результаты решения следующих задач стимулирования в подсистемах:

$$(11) \quad H_j(y_j^*) - \sum_{i=1}^{n_j} \sigma_{ij}(y_j^*) + \sigma_j(Y^{*j}) \rightarrow \max_{\sigma_{ij} \in M_{ij}},$$

$$(12) \quad y_j^* \in P_j(\{\sigma_{ij}\}), \quad j = \overline{1, n}.$$

Как и в двухуровневых системах, под *эффективностью стимулирования* будем понимать максимальное значение целевой функции заказчика (9) на множестве решений игры исполнителей. Более корректно, если обозначить $\sigma = \{\sigma_j\}$, то эффективность

¹ Следует подчеркнуть, что основная цель стимулирования заключается в согласовании интересов участников ОС. Вводимое предположение исключает возможность рассогласования информированностей участников ОС о возможностях управления (см. также содержательное обсуждение ниже).

$$(13) K(\sigma) = \max_{Y \in R(\sigma)} \Phi(Y).$$

В задаче стимулирования для j -ой подсистемы эффективность стимулирования определяется (обозначим $\sigma^j = \{\sigma_{ij}\}$):

$$(14) K_j(\sigma^j) = \max_{y_j \in P_j(\sigma^j)} \Phi_j(y_j).$$

Отметим, что (13) и (14) подразумевают выполнение гипотезы благожелательности (ГБ) – из множества действий, доставляющих максимум их целевой функции, промежуточные центры (и/или исполнители) выбирают действия, максимизирующие целевую функцию заказчика (и/или соответствующего промежуточного центра). В многоуровневых ОС веерного типа гипотеза благожелательности в приведенном виде имеет смысл, только если выполнено А1.

Качественно, трехуровневая ОС веерного типа может рассматриваться как совокупность из $(n+1)$ двухуровневых ОС – n подсистем и одной метасистемы – ОС, состоящей из заказчика и промежуточных центров. Одним из эффектов, возникающих в трехуровневых системах, по сравнению с двухуровневыми, является влияние на эффективность управления фактора агрегирования (как информации – состояний, так и описания участников – моделей их поведения). Действительно, заказчик не имеет детальной информации о моделях и/или результатах деятельности исполнителей, а наблюдает только агрегированные результаты их деятельности, не имея в общем случае возможности выделить вклад конкретного исполнителя. Поэтому различным является описание и промежуточных центров: с точки зрения подсистем их целевые функции зависят от индивидуальных результатов деятельности исполнителей и определяются выражением (2). С точки зрения агрегированного описания в рамках метасистемы, целевые функции зависят от агрегированных переменных и определяются выражением (4). При этом, естественно, эти два различных описания должны быть согласованы в смысле (5).

Введем дополнительно к уже введенным выше ряд предположений относительно целевых функций и допустимых множеств, которые, если не будет оговорено особо, будем считать выполненными в ходе дальнейшего изложения.

A2. $A_{ij} = A^j = A = [0, +\infty)$.

A3. $c_{ij}(y_{ij}), c_j(y_j)$ – неубывающие, ограниченные снизу функции.

A3'. $A3, c_{ij}(y_{ij}), c_j(y_j)$ непрерывны, монотонно возрастают и $c_{ij}(0) = c_j(0) = 0$.

A3''. $A3', c_{ij}(y_{ij}), c_j(y_j)$ выпуклы, непрерывно дифференцируемы и $c'_{ij}(0) = c'_j(0) = 0$.

A4. $M_{ij} = M_j$ – множество положительнозначных кусочно-непрерывных функций.

A4'. $M_{ij} = \{ \sigma_{ij} \mid \forall y_{ij} \in A_{ij} \ 0 \leq \sigma_{ij}(y_{ij}) \leq C_{ij} \};$

$M_j = \{ \sigma_j \mid \forall Y^j \in A^j \ 0 \leq \sigma_j(Y^j) \leq c_j \};$

A4''. $\{M_{ij}\} := \{ \sigma_{ij} \mid \forall y \in A \ \sum_i \sigma_{ij}(y_{ij}) \leq C_j \};$

$\{M_{ij}\} := \{ \sigma_j \mid \forall Y \in A \ \sum_{j=1}^n \sigma_j(Y_j) \leq c \}.$

Содержательно, предположение А.2 ограничивает множества допустимых действий исполнителей. Скалярность и неотрицательность их значений на практике может соответствовать, например, количеству произведенной продукции, отработанному времени и т.д. Предположения А.3 утверждают, что: существует действие, требующее минимальных затрат (например, неучастие в данной ОС, невыпуск продукции и т.д.), большим действиям соответствуют большие затраты (монотонность), причем предельные затраты возрастают с увеличением действия (выпуклость) – например, увеличение дополнительных усилий с увеличением продолжительности рабочего времени и т.д. Предположение А.4. соответствует тому, что заказчик может использовать поощрения, принимающие любые неотрицательные значения; А.4' фиксирует ограничения на эти поощрения, то есть – на индивидуальные функции стимулирования исполнителей; А.4'' – на совокупность индивидуальных функций стимулирования.

В [64] доказано, что, если выполнены предположения А.2, А.3 и А.4, то выполнено А.1.

Выше была приведена общая формулировка задачи стимулирования в детерминированной трехуровневой ОС без учета затрат на обработку информации. Перейдем теперь к описанию того

случая, когда агрегирование информации отсутствует, и заказчик полностью информирован о моделях подсистем.

Будем считать, что агрегирование информации отсутствует, то есть, предположим, что заказчик имеет полную и точную информацию о моделях подсистем (условия согласования (5) при этом выполняются автоматически).

Изложение дальнейшего материала носит индуктивный характер – переходя от простейшей одноэлементной двухуровневой ОС к многоуровневым, мы имеем возможность выявить возникающие при этом новые качественные и количественные эффекты.

Рассмотрим ОС, состоящую из одного заказчика и одного исполнителя (если $n = 1$ и/или $N = 1$, то индексы будут опускаться). Целевая функция заказчика $\Phi(y) = H(y) - \sigma(y)$, исполнителя – $f(y) = \sigma(y) - c(y)$.

Для рассматриваемой модели известно (см. выше), что в рамках А.2 и А.3' минимальные затраты заказчика на стимулирование по реализации действия $y^* \in A$ равны $c(y^*)$. Поэтому эффективность стимулирования равна:

$$(15) K_0(C) = \max_{y \in P(C)} [H(y) - c(y)],$$

где

$$(16) P(C) = \{y \in A \mid c(y) - \min_{y \in A} c(y) \leq C\}.$$

Если $C = +\infty$, то $A4'$ превращается в $A4$ и $P(C) = A$. Введем теперь один промежуточный центр, целевая функция которого равна

$$(17) \Phi_I(y) = H_I(y) + \sigma_I(y) - \sigma(y).$$

Целевая функция заказчика при этом становится: $\Phi(y) = H(y) - \sigma_I(y)$, а исполнителя, по-прежнему: $f(y) = \sigma(y) - c(y)$. Множество реализуемых действий исполнителя в рассматриваемой трехуровневой ОС определяется (16), а множество действий, реализуемых в метасистеме, есть

$$(18) R(c) = \{y \in A \mid c(y) - \min_{y \in A} c(y) - H_I(y) \leq c\}.$$

Понятно, что минимум затрат на стимулирование достигается при согласовании ограничений механизмов стимулирования в подсистеме и метасистеме, то есть, в частности, при условии, что $P(C) = R(c)$, то есть при

$$(19) C - c = H_I(y^*),$$

где $y^* = \arg \max_{y \in P(C)} [H(y) + H_I(y) - c(y)]$. Эффективность стимулирования в условиях согласования (19) равна:

$$(20) K_I(C) = \max_{y \in P(C)} [H(y) + H_I(y) - c(y)].$$

Если исполнителю или промежуточному центру в равновесии должно гарантироваться некоторое фиксированное значение целевой функции, то соответствующие константы учитываются в выражениях (16) и (18) по аналогии с тем как это делается в [49, 68]. При дальнейшем изложении подобные ограничения учитываться не будут.

Из сравнения выражений (15) и (20) видно, что соотношение между эффективностями стимулирования в первом приближении зависит от знака функции дохода промежуточного центра. Если $\forall y \in A H_I(y) \geq 0$, то $\forall C \geq 0 K_I(C) \geq K_0(C)$. Если $\forall y \in A H_I(y) \leq 0$, то $\forall C \geq 0 K_I(C) \leq K_0(C)$. Если же доход промежуточного центра – знакопеременная функция, то для определения соотношения между эффективностями требуется дополнительное более тонкое исследование.

Качественно, отличие выражений (15) и (20) заключается в том, что в трехуровневой ОС при отсутствии агрегирования в целевую функцию заказчика аддитивно входит доход промежуточного центра от деятельности исполнителя, а сам промежуточный центр при выполнении условия (20) или А.4 играет роль относительно пассивного «промежуточного звена». Итак, если в двухуровневую ОС добавляется дополнительный промежуточный уровень управления, получающий собственный неотрицательный доход, то эффективность управления увеличивается за счет того, что промежуточный центр берет на себя часть расходов по стимулированию исполнителей. Если же доход этого промежуточного уровня отрицателен (этот случай может соответствовать наличию у него затрат на собственную деятельность (управление) или переработку информации и т.д.), то эффективность стимулирования снижается.

Перейдем теперь к рассмотрению многоэлементных ОС. Пусть имеется двухуровневая ОС с N исполнителями. Ее элементом является ij -ая (одноэлементная двухуровневая) ОС.

Понятно, что в рамках предположений А.4 или А.4' при взаимодействующих исполнителях все выводы предыдущего рассмотрения одноэлементных ОС останутся в силе и для многоэлементных многоуровневых ОС (задача будет декомпозироваться на набор несвязанных одноэлементных задач). Эффективность стимулирования в двухуровневой или трехуровневой ОС с однородными (одинаковыми) исполнителями будет равна, соответственно, $NK_0(C)$ и $NK_1(C)$, где C – ограничение на индивидуальное стимулирование. Поэтому представляет интерес случай взаимодействующих исполнителей. Ограничимся случаем слабо связанных исполнителей, для которых стимулирование каждого исполнителя (и его целевая функция) явным образом зависит только от его собственных действий, но существуют общие ограничения на механизм управления, например – ограничения на стимулирование, накладываемые предположением А.4".

Пусть в двухуровневой ОС со слабо связанными исполнителями при отсутствии агрегирования выполнено предположение А.4". Тогда множество реализуемых действий примет вид (в двухуровневых многоэлементных ОС исполнители нумеруются одним индексом – i , пробегающим значения от 1 до N):

$$(21) P(C) = \{y \in A \mid \sum_{i=1}^N c_i(y_i) \leq C\},$$

а эффективность стимулирования будет равна:

$$(22) K_3(C) = \max_{y \in P(C)} [H(y) - \sum_{i=1}^N c_i(y_i)].$$

Введем n промежуточных центров. Тогда целевые функции примут вид:

$$(23) \Phi(y) = H(y) - \sum_{j=1}^n \sigma_j(y_j),$$

$$(24) \Phi_j(y_j) = H_j(y_j) - \sigma_j(y_j) - \sum_{i=1}^{n_j} \sigma_{ij}(y_{ij})$$

$$(25) f_{ij}(y_{ij}) = \sigma_{ij}(y_{ij}) - c_{ij}(y_{ij}).$$

Пусть суммарный фонд стимулирования заказчика верхнего уровня ограничен величиной $c \geq 0$. Предположим, что он зафиксировал некоторое его распределение $\{C_j\}$ между подсистемами:

$C_j \geq 0, \sum_{j=1}^n C_j = c$ (содержательно, например – распределяются

суммарные выплаты по договорам (СВД). Тогда множество действий исполнителей, реализуемых в j -ой подсистеме, определяется

$$(26) P_j(C_j) = \{y_j \in A_j \mid \sum_{i=1}^{n_j} c_{ij}(y_{ij}) - H_j(y_j) \leq C_j\}.$$

Эффективность стимулирования в трехуровневой ОС в рамках ГБ равна:

$$(27) K_4(c) = \max_{\sum C_j \leq c} \max_{y_j \in P_j(C_j)} [H(y) + \sum_{j=1}^n \{H_j(y_j) - \sum_{i=1}^{n_j} c_{ij}(y_{ij})\}].$$

Проанализируем соотношение между (22) и (27) при $C = c$. Если $H_j(y_j) \equiv 0$, то $\forall C \geq 0 K_4(C) \leq K_3(C)$, то есть, если экономический фактор отсутствует, то эффективность стимулирования в трехуровневой ОС со слабо связанными исполнителями не выше, чем в двухуровневой. Если $H_j(y_j) < 0$, то эффективность строго ниже, если же проявления экономического фактора значительны ($H_j(y_j) \gg 0$), то эффективность стимулирования в трехуровневой ОС может оказаться строго больше эффективности стимулирования в соответствующей двухуровневой.

Отметим, что при определении $K_4(c)$ принципы распределения суммарных выплат по договору между подсистемами не фиксировались (первый максимум в (27) соответствует решению этой задачи распределения). Если же принципы распределения ограничений механизма стимулирования подсистем задать априори, то эффективность от этого может только уменьшиться.

Таким образом, «экономический фактор», влияние которого на эффективность управления может быть как положительным, так и отрицательным, содержательно соответствует введению в ОС дополнительных участников со своими интересами и возможностями, которые могут интерпретироваться как дополнительный ресурс управления. При этом последние либо берут на себя часть расходов по управлению субподрядчиками (позитивный эффект), либо сами требуют дополнительных расходов (негативный эффект).

Помимо экономического фактора в рассмотренной модели ОС со слабо связанными исполнителями проявился и новый фактор, связанный с тем, что при введении промежуточного уровня управления исходная задача декомпозировалась на набор более частных подзадач, которые потом в свою очередь были агрегированы в общую задачу. Влияние такой декомпозиции на эффективность управления условно можно назвать «*фактором декомпозиции оптимизационных задач*» [64]. Однако он обусловлен скорее спецификой рассматриваемых формальных задач, и, следовательно, не является характерным признаком многоуровневых ОС. Поэтому в дальнейшем будем рассматривать фактор декомпозиции оптимизационных задач как составную часть фактора агрегирования. Для иллюстрации положим $H_j(y_j) \equiv 0$ и сравним (22) и (27). Целевые функции в них одинаковы так как:

$$H(y) + \sum_{j=1}^n \{H_j(y_j) - \sum_{i=1}^{n_j} c_{ij}(y_{ij})\} = H(y) - \sum_{i=1}^N c_i(y_i),$$

а отличие заключается лишь во взятии максимумов. Таким образом, декомпозиция исходной задачи и последующий синтез частных задач в рассмотренной модели не привели в отсутствие агрегирования информации к увеличению эффективности управления. Справедливости ради следует отметить, что агрегирования в чистом виде в моделях настоящего параграфа нет – имеется лишь декомпозиция задач, в которых заказчик обладает об исполнителях в точности той же информацией, что и центры промежуточного уровня. Это, в частности, позволяет говорить о совпадении K_3 и K_4 в рассматриваемой модели, то есть при отсутствии агрегирования информации (полной информированности всех участников о точных моделях элементов всех уровней) возможно, что декомпозиция задачи управления и не приведет к снижению эффективности.

Перейдем к анализу задач стимулирования в многоуровневых ОС с агрегированием информации.

В начале данного параграфа была приведена общая постановка детерминированной задачи стимулирования в трехуровневой ОС, то есть в такой ОС, в которой результаты деятельности участников не зависят от случайных и неопределенных параметров. Отметим, что детерминированность в таком понимании не противоречит возможности агрегирования по состоянию и по модели.

Ниже приведен общий случай модели договорных отношений с агрегированием информации для трехуровневой ОС. Детальное исследование этой модели приводится в следующем параграфе.

Определим для произвольного $Y^j \in A^j$ множество:

$$(28) A_j(Y^j) = \{y_j \in A_j \mid Q_j(y_j) = Y^j\}.$$

Пусть $y_{ij}^{\min}(Y^j)$ – решение следующей задачи:

$$(29) \sum_{i=1}^{n_j} c_{ij}(y_{ij}) \rightarrow \min_{y_j \in A_j(Y^j)},$$

а $y_{ij}^{\max}(Y^j)$ – решение следующей задачи:

$$(30) \sum_{i=1}^{n_j} c_{ij}(y_{ij}) \rightarrow \max_{y_j \in A_j(Y^j)}.$$

Обозначим

$$c_j^{\min}(Y^j) = \sum_{i=1}^{n_j} c_{ij}(y_{ij}^{\min}(Y^j)), \quad c_j^{\max}(Y^j) = \sum_{i=1}^{n_j} c_{ij}(y_{ij}^{\max}(Y^j)).$$

Очевидно, что $c_j^{\min}(Y^j)$ и $c_j^{\max}(Y^j)$ удовлетворяют (19), то есть реальная модель промежуточного центра и представления о ней заказчика согласованы. Более того, очевидно, что $\forall Y \in A$ любая функция затрат промежуточного центра (при условии реализации используемыми системами стимулирования соответствующих действий в подсистемах) $c_j(Y^j)$ удовлетворяет:

$$(31) c_j^{\min}(Y^j) \leq c_j(Y^j) \leq c_j^{\max}(Y^j).$$

Агрегированная функция затрат $c_j^{\min}(Y^j)$ промежуточного центра минимизирует его затраты на стимулирование по реализации агрегата Y^j и соответствует идеальному агрегированию. Определяемый (31) диапазон изменений агрегированной функции затрат отражает характерную для многоуровневых систем неполноту информированности заказчика о моделях исполнителей. Таким образом, обоснована справедливость следующего утверждения.

Утверждение 6.

1) Если выполнены предположения А.1 и А.4, то в рамках ГБ максимальная гарантированная (по множеству согласованных

моделей подсистем) эффективность стимулирования в трехуровневой ОС равна

$$(32) K_g^{\max} = \max_{Y \in A} [H(Y) - \sum_{j=1}^n c_j^{\max}(Y^j)].$$

2) Если выполнены предположения А.1 и А.4, то в рамках ГБ максимальная эффективность стимулирования в трехуровневой ОС соответствует полной информированности заказчика о моделях исполнителей и равна

$$(33) K^{\max} = \max_{Y \in A} [H(Y) - \sum_{j=1}^n c_j^{\min}(Y^j)].$$

Следствие.

а) Идеальное агрегирование имеет место, если агрегированная функция затрат промежуточного центра равна $c_j^{\min}(Y^j)$.

б) Без учета затрат на получение и обработку информации агрегирование информации в задачах стимулирования в многоуровневых ОС не увеличивает эффективности стимулирования.

Выражения (32) и (33) дают, соответственно, нижнюю и верхнюю оценки эффективности стимулирования в рассматриваемой трехуровневой ОС: $K_g^{\max} \leq K \leq K^{\max}$. Таким образом, для достижения максимальной эффективности стимулирования K^{\max} заказчик должен либо полностью знать модели поведения исполнителей и промежуточных центров для того, чтобы обеспечить выполнение (29) (что лишает агрегирование смысла), либо добиваться выполнения (29) какими-либо другими доступными ему способами.

Пусть, например, значение агрегированной функции затрат промежуточного центра есть $c_j^{\min}(Y^j)$, но неизвестно точно заказчику. Если заказчик будет использовать механизм с сообщением информации, основывающийся на сообщениях промежуточных центров, то максимальная эффективность достигнута не будет. Действительно, промежуточные центры могут сообщать заказчику любые оценки затрат, удовлетворяющие (31) (уличить их в искажении информации при этом невозможно). Тогда оптимальной стратегией каждого из независимых промежуточных центров будет сообщение максимальных затрат $c_j^{\max}(Y^j)$, так как стимулирование

заказчика основано на компенсации затрат и при таком сообщении значение целевой функции промежуточного центра максимально.

Основные выводы, которые можно сделать по настоящему разделу, следующие:

1. Существование и непустота области компромисса для формальной модели многоуровневых договорных отношений отражает наличие возможности согласования интересов заказчика и исполнителей, то есть возможности при заданных ограничениях заключения договора между ними;

2. Без учета затрат на получение и обработку информации агрегирование информации в задачах поиска оптимального договора в многоуровневых ОС не увеличивает эффективности стимулирования.

Таким образом, мы получили, что эффективность стимулирования в трехуровневой модели с агрегированием информации без учета экономического фактора ($H_{\lambda}(Y^j) = 0$) не выше, чем в её двухуровневом аналоге.

Зная это, заказчику, принимая решение о введении или не введении в организационную систему (в процесс реализации проекта) промежуточных управляющих органов (генподрядчиков), необходимо оценить возможные затраты на обработку всей информации, поступающей от каждого подрядчика, и сопоставить их с затратами на содержание потенциальных генподрядчиков.

Кроме того, одним из основных результатов данного исследования можно назвать то, что мы получили условия эффективного функционирования промежуточного центра – генподрядчика, который может «играть» на ограничениях информированности заказчика о параметрах и целевых функциях подрядчиков, обеспечивая тем самым собственную прибыль. Поясним это утверждение подробнее.

Генподрядчик, заключая договор с заказчиком, должен обеспечить выполнение условий этого договора, для чего ему необходимо заключать такие договоры с подрядчиками, выполнение работ по которым, в результате привело бы к заданной цели. При этом затраты, которые заказчик готов понести за выполнение этой работы, которые соответствуют стимулированию генподрядчика, могут быть рассчитаны в соответствии с моделью (30). А затраты,

которые генподрядчик понесет при выплатах по договорам с подрядчиками рассчитываются по модели (29). Разница между полученными результатами и будет его доходом.

Таким образом, если рассматривать организационную систему как иерархию договорных отношений в проекте, степень информированности каждого из её участников будет обеспечивать ему возможность получать большую прибыль, по сравнению с остальными.

6. МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ПЛАНИРОВАНИЯ, ВЫБОРА КОНТРАГЕНТОВ И ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ

В настоящем разделе рассматриваются: задачи планирования (определения набора договоров – подраздел 6.1), рефлексивные модели переговоров, учитывающие субъективные представления их участников (подраздел 6.2), и модели пересоглашения договоров (подраздел 6.3).

6.1. МЕХАНИЗМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ

Важнейшей задачей планирования является определение набора контрагентов и распределение работ между ними. Поэтому в настоящем разделе рассматриваются механизмы планирования, позволяющие принимать решения относительно эффективного распределения работ между исполнителями (включая выбор самих исполнителей).

На качественном уровне задача заключается в следующем. Пусть проект состоит из некоторого набора работ. Часть работ заказчик (организация, заинтересованная в реализации проекта) может выполнить самостоятельно – так называемые собственные работы. Часть работ может оказаться выгодно поручить исполнителям – так называемые подрядные работы. Как правило, априори существуют несколько организаций – претендентов на роль исполнителей, причем, чем больший объем работ будет поручен определенному исполнителю, тем меньше окажется себестоимость. В то же время, существует ненулевая вероятность невыполнения работ исполнителем, поэтому возникает задача определения объема собственных работ, подрядных работ и такого распределения их между исполнителями, которое минимизировало бы затраты заказчика и минимизировало риск. Понятно, что критерии «риск» и «стоимость» являются противоречивыми, в том смысле, что снижение затрат приводит к увеличению риска, и наоборот. Поэтому возникает задача поиска рационального компромисса между затратами и риском.

Рассмотрим следующую модель. Пусть проект заключается в выполнении объема V однородных и произвольно делимых работ. Затраты заказчика описываются следующей функцией затрат: $c_0(y_0) = c_0 + \alpha_0 y_0$, где $y_0 \geq 0$ – объем собственных работ, c_0 – постоянные издержки, α_0 – удельные переменные затраты заказчика. Если реализация проекта приносит заказчику доход, пропорциональный объему (коэффициент пропорциональности λ может интерпретироваться как внешняя цена), то знание функции затрат заказчика позволяет вычислить точку безубыточности – минимальный объем собственных работ: $y_{00} = c_0 / (\lambda - \alpha_0)$.

Пусть имеется множество $I = \{1, 2, \dots, n\}$ из n потенциальных исполнителей, функции затрат которых имеют такую же структуру: $c_i(y_i) = c_{0i} + \alpha_i y_i$, $i \in I$. Так как постоянные издержки исполнителей обычно включаются в себестоимость, то при линейном механизме ценообразования удельная стоимость выполнения объема работ y_i i -ым исполнителем равна $\beta_i(y_i) = \alpha_i + c_{0i} / y_i$ и убывает с ростом объема работ, $i \in I$.

Обозначим $Q \subseteq I$ – множество исполнителей, участвующих в проекте. Тогда затраты $C(Q, V, \{y_i\})$ заказчика на реализацию проекта с объемом работ V зависят также от набора исполнителей Q и распределения работ между ними: $\{y_i\}_{i \in Q}$:

$$(1) C(Q, V, \{y_i\}) = \sum_{i \in Q} c_{0i} + \sum_{i \in Q} \alpha_i y_i + [c_0 + \alpha_0 (V - \sum_{i \in Q} y_i)] \text{Sign} (V - \sum_{i \in Q} y_i),$$

$$\text{где } \text{Sign}(t) = \begin{cases} 1, & t > 0 \\ 0, & t \leq 0 \end{cases}.$$

Пусть на объемы работ, выполняемых исполнителями, наложено ограничение сверху – $\{V_i\}_{i \in I}$. Тогда задача планирования примет вид:

$$(2) C(Q, V, \{y_i\}) \rightarrow \min_{Q, \{y_i \in [0, V_i]\}}.$$

при ограничении

$$(3) \sum_{i \in Q} y_i \leq V.$$

Задача (2)-(3) принадлежит классу задач дискретной оптимизации. Для ее решения (помимо полного перебора – метод 1) может быть использован метод декомпозиции на два уровня: сначала задача решается при фиксированном множестве Q , а затем уже выбирается это множество.

Можно предложить несколько эвристических методов отыскания (неточного) решения задачи (2)-(3). Перечислим некоторые возможные варианты.

Метод 2. Упорядочить исполнителей, включая заказчика, по возрастанию величин c_{0i} , затем включать тех из них в состав исполнителей, начиная с первого, выделяя максимальные объемы работ V_i , пока весь объем работ V не будет распределен.

Метод 3. Упорядочить исполнителей, включая заказчика, по возрастанию величин α_i , затем включать их в состав исполнителей, начиная с первого, выделяя максимальные объемы работ V_i , пока весь объем работ V не будет распределен.

Метод 4 (принцип равных удельных затрат). Решаем систему из $(n + 1)$ уравнения:

$$\beta_i(y_i) = \beta_0(y_0), i \in I, y_0 + \sum_{i \in I} y_i = V.$$

с n неизвестными y_0 и $\{y_i\}_{i \in I}$. Если решение этой системы не удовлетворяет ограничениям $y_i \leq V_i, i \in I$, то излишки работ распределяем по тому же принципу.

Метод 5. Введем переменные $x_i \in \{0; 1\}, i \in I$. Будем выделять всем исполнителям, привлекаемым к участию в проекте, максимальные объемы работ. Тогда задача заключается в нахождении набора исполнителей (объем работ, представляющий собой разность между V и суммой объемов работ исполнителей, включенных в проект, выполняет сам заказчик):

$$(4) \sum_{i \in I} (c_{0i} + \alpha_i V_i) x_i + [c_0 + \alpha_0 (V - \sum_{i \in I} V_i x_i)] \text{Sign}(V - \sum_{i \in I} V_i x_i) \rightarrow \min_{\{x_i\}},$$

при ограничении

$$(5) \sum_{i \in I} V_i x_i \leq V.$$

Задача о ранце (4)-(5) может быть решена методом динамического программирования или простым перебором (число вариантов $\approx 2^n$). Но, учитывая специфику задачи, можно предложить простое

эвристическое правило: включать в состав исполнителей Q тех из них $i \in I$, для кого выполняется следующее условие:

$$(6) c_{0i} + V_i (\alpha_i - \alpha_0) \leq 0.$$

Исследуем сравнительную эффективность предложенных пяти методов решения задачи планирования на следующем примере.

Пусть имеются два потенциальных исполнителя, параметры которых, совместно с параметрами заказчика, приведены на рисунке 5 (отметим, что стоимости выполнения объема работ, равного единице, одинаковы у всех исполнителей и у заказчика).

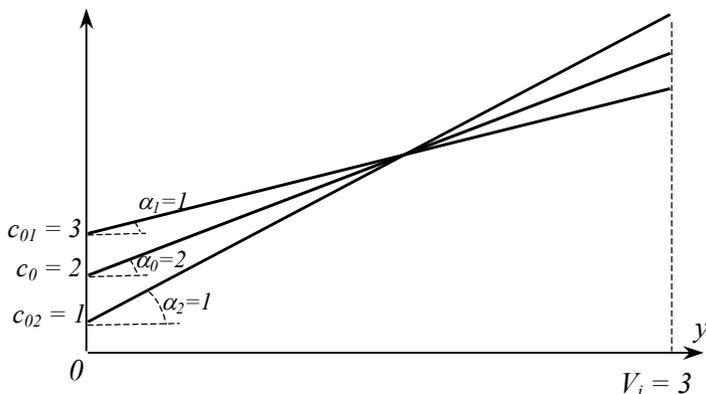


Рис. 5. Параметры функций затрат заказчика и потенциальных исполнителей

Результаты решения задачи планирования методами 1-5 приведены в таблице 3.

Табл. 3. Результаты решения задачи планирования методами 1-5

Метод	Состав исполнителей	Затраты
1	{0, 1}	12
2	{0, 2}	15
3	{0, 1}	12
4	{0, 1, 2}	14,88
5	{0, 1}	12

Видно, что использование эвристик в рассматриваемом примере приводит к завышению затрат (по сравнению с точным решением – см. метод 1) на 25 %.

В заключение настоящего раздела рассмотрим методы учета риска в задачах планирования.

Ограничимся случаем n претендентов на выполнение работ по проекту, у каждого из которых существует минимальный объем v_i работ, который он согласен выполнять, и цена α_i единицы объема работ, $i \in I$. Будем считать, что, чем больше объем работ, тем ниже цена (см. выше), тогда исполнителей можно упорядочить:

$$v_1 \geq v_2 \geq \dots \geq v_n, \alpha_1 \leq \alpha_2 \leq \dots \leq \alpha_n.$$

Пусть риск (вероятность) невыполнения условий договора для каждого исполнителя одинакова и равна p , причем «отказы» исполнителей будем считать независимыми событиями.

Заказчик в случае невыполнения $\Delta V \geq 0$ объема работ по проекту несет потери $\chi(\Delta V)$.

Если α_0 – собственная стоимость выполнения единичного объема работ заказчиком, то без учета риска следовало бы в случае $\alpha_1 < \alpha_0$ и $V \geq V_1$ передать весь объем работ первому исполнителю, если же $\alpha_1 \leq \alpha_2 < \alpha_0$, $V < V_1$ и $V \geq V_2$, то – второму и т.д.

Учтем теперь риск, предполагая сначала, что $\chi(\Delta V) = \gamma \Delta V$, где $\gamma \geq 0$ – неотрицательная константа (коэффициент штрафов). Обозначим C_1 – математическое ожидание затрат заказчика в случае выполнения всего объема работ первым исполнителем:

$$(7) C_1 = V [(1-p) \alpha_1 + p \gamma].$$

В случае, если первому исполнителю поручается объем работ $V_1 \leq V$, а второму – $(V - V_1)$, то математическое ожидание затрат заказчика равно

$$(8) C_2(V_1) = (1-p) [\alpha_1 V_1 + \alpha_2 (V - V_1)] + p \gamma V.$$

Видно, что минимум выражения (8) достигается при $V_1 = V$, то есть, привлечение второго исполнителя не имеет смысла.

Этот вывод обусловлен линейностью целевых функций и независимостью «отказов» исполнителей. Для того, чтобы учесть эффект диверсификации рассмотрим случай, когда $\chi(\cdot)$ – нелинейная функция. Положим $\chi(\Delta V) = \gamma (\Delta V)^2$. Тогда

$$(9) C_1 = V [(1-p) \alpha_1 + p \gamma V],$$

$$(10) C_2(V_1) = (1-p) [\alpha_1 V_1 + \alpha_2 (V - V_1)] + p \gamma [2 V_1^2 - 2 V V_1 + V^2].$$

Минимум выражения (10) по V_1 (внутреннее решение) достигается при

$$(11) V_1^* = V/2 + \frac{(1-p)(\alpha_2 - \alpha_1)}{4p\gamma}.$$

Видно, что объем работ, выполняемых первым исполнителем, убывает с ростом вероятности p . Сравнивая (9) и $C_2(V_1^*)$, можно принимать решение о целесообразности привлечения второго исполнителя. Аналогичным образом (последовательно) могут анализироваться оптимальные наборы исполнителей. Таким образом, в случае упорядоченности исполнителей по минимальным объемам и ценам, задача планирования, даже с учетом риска, решается аналитически.

До сих пор, рассматривая механизмы компромисса, мы считали, что все стороны договорных отношений (и заказчики, и исполнители) одинаково и полно информированы относительно всех существенных параметров. Другими словами, считалось, что целевые функции, допустимые множества, операторы агрегирования и т.д. являются *общим знанием* [74]. Откажемся от этого предположения и рассмотрим различные варианты взаимной информированности договаривающихся сторон, и исследуем влияние информированности на процесс и результаты переговоров о параметрах договоров.

6.2. РЕФЛЕКСИВНЫЕ МОДЕЛИ ПЕРЕГОВОРОВ

Рассмотрим¹ последовательно ряд моделей определения параметров договора в результате переговоров между заказчиком и исполнителем, каждый из которых имеет собственные представления о стоимости договора, а также о представлениях оппонента, о представлениях о представлениях и т.д. [52]. Имея результаты моделирования результатов переговоров, можно ставить и относительно просто решать задачи выбора контрагентов.

¹ Настоящий раздел написан совместно с А.Г. Чхартишвили.

Модель купли-продажи. Пусть продавец и покупатель (которых будем обозначать «s» – seller и «b» – buyer соответственно) должны прийти к компромиссу относительно стоимости некоторого товара, услуги, работ по договору и т.д.

Обозначим: θ_b – представления покупателя о ценности для него товара (максимальную цену, которую он готов за него заплатить); θ_s – представления продавца о ценности для него товара (минимальную цену, за которую он готов продать товар); θ_{bs} – представления покупателя о представлениях продавца, θ_{sb} – представления продавца о представлениях покупателя; θ_{sbs} – представления продавца о том, что о его представлениях думает покупатель, и т.д. в соответствии с системой обозначений, предложенной в [74]. Будем считать, что $\theta_\tau \in \mathfrak{R}_+^1$, где τ – произвольная конечная последовательность индексов (в том числе, пустая) из множества участников сделки $\{\langle s \rangle; \langle b \rangle\}$. Далее множество всевозможных конечных последовательностей индексов будем обозначать Σ_+ , объединение Σ_+ с пустой последовательностью будем обозначать Σ .

Следуя [74], введем аксиому *автоинформированности*:
 $\forall i \in I, \forall \tau, \sigma \in \Sigma \theta_{\tau i \sigma} = \theta_{\sigma i \tau}$

Рассмотрим, какими свойствами должны обладать взаимные представления покупателя и продавца для того, чтобы сделка была возможна. Из условия того, что сделка может произойти, только если ценность товара для покупателя не ниже, чем для продавца, получаем следующую систему неравенств:

$$(1) \forall \tau \in \Sigma \theta_{\tau b} \geq \theta_{\tau s}, \theta_{\tau s} \leq \theta_{\tau b}$$

Из (1) следует, что субъективный размер области компромисса может быть представлен в виде:

$$(2) \Delta_\tau = \theta_{\tau b} - \theta_{\tau s}, \tau \in \Sigma,$$

причем $\forall \tau \in \Sigma \Delta_\tau \geq 0$.

Обсудим теперь возможные механизмы компромисса. При заданных субъективных представлениях и, следовательно, заданной области компромисса, которая не пуста в силу (1) и (2), возможны различные процедуры дележа «прибыли» Δ (определения точки компромисса).

Первый вариант (дележ прибыли) заключается в задании отображения $\pi = (\pi_s, \pi_b): \mathcal{R}_+^2 \rightarrow \mathcal{R}_+^2$, удовлетворяющего для всех $\theta_b \geq \theta_s$ следующим свойствам:

$$(3) \pi_s(\theta_s, \theta_b) + \pi_b(\theta_s, \theta_b) = \Delta,$$

$$(4) \frac{\partial \pi_s(\theta_s, \theta_b)}{\partial \theta_s} \leq 0,$$

$$(5) \frac{\partial \pi_s(\theta_s, \theta_b)}{\partial \theta_b} \geq 0,$$

$$(6) \frac{\partial \pi_b(\theta_s, \theta_b)}{\partial \theta_s} \leq 0,$$

$$(7) \frac{\partial \pi_b(\theta_s, \theta_b)}{\partial \theta_b} \geq 0,$$

содержательные интерпретации которых очевидны. Примером является инвариантный относительно аддитивного сдвига представлений механизм компромисса $\pi_s = \alpha(\theta_b - \theta_s)$, $\pi_b = (1 - \alpha)(\theta_b - \theta_s)$, где $\alpha \in [0; 1]$. Как отмечалось выше, аксиоматическая характеристика различных механизмов компромисса является перспективной задачей, выходящей, однако, за рамки настоящего исследования.

Второй вариант (непосредственное определение точки компромисса) заключается в задании отображения $\pi: \mathcal{R}_+^2 \rightarrow \mathcal{R}_+^1$, удовлетворяющего для всех $\theta_b \geq \theta_s$ следующим свойствам:

$$(8) \theta_s \leq \pi(\theta_s, \theta_b) \leq \theta_b,$$

$$(9) \frac{\partial \pi(\theta_s, \theta_b)}{\partial \theta_s} \geq 0,$$

$$(10) \frac{\partial \pi(\theta_s, \theta_b)}{\partial \theta_b} \geq 0,$$

содержательные интерпретации которых также очевидны. Примером является инвариантный относительно аддитивного сдвига представлений механизм компромисса

$$(11) \pi = \alpha \theta_b + (1 - \alpha) \theta_s,$$

где $\alpha \in [0; 1]$.

Ясно, что эти два варианта механизмов эквивалентны, поэтому в дальнейшем для определенности будем иметь в виду второй вариант.

Рефлексивную игру продавца и покупателя формализуем следующим образом. Допустимым действием каждого из игроков – продавца и покупателя – является сообщение (одновременно с оппонентом независимо от него) «своей» цены – x_s и x_b соответственно. На основании сообщений игроков сделка либо не совершается (при $x_s > x_b$), либо совершается по цене $\pi(x_s, x_b)$ (при $x_s \leq x_b$). Функции выигрыша в этой игре имеют следующий вид:

$$f_s(\theta_s, x_s, x_b) = \begin{cases} \pi(x_s, x_b) - \theta_s, & x_s \leq x_b, \\ -\varepsilon_1, & x_s > x_b, \end{cases}$$

$$f_b(\theta_b, x_s, x_b) = \begin{cases} \theta_b - \pi(x_s, x_b), & x_s \leq x_b, \\ -\varepsilon_2, & x_s > x_b, \end{cases}$$

где ε_1 и ε_2 – произвольные положительные числа (затраты на подачу заявки в случае, если сделка не состоится). Кроме того, будем считать, что каждый из агентов может вообще отказаться от переговоров; при этом сделка не совершается и агент, не подавший заявку, получает нулевой выигрыш.

Опишем теперь информированность участников игры. Будем считать, что допустимые действия и целевые функции являются общим знанием с точностью до величин θ_s и θ_b . Пусть, далее, продавец и покупатель обладают точечной структурой информированности конечной сложности [74] следующего вида: $I_s = (\theta_s, \theta_{sb}, \theta_{sbs}, \dots)$, $I_b = (\theta_b, \theta_{bs}, \theta_{bsb}, \dots)$ – напомним, что в силу аксиомы автоинформированности индексы «s» и «b» чередуются.

Рассмотрим вопрос о том, каковы возможные информационные равновесия в описанной рефлексивной игре. Для определенности будем сначала вести рассуждения для одного из агентов – продавца.

Для того, чтобы определить равновесное действие продавца x_s^* , необходимо определить равновесные действия всех фантомных агентов, существующих в его представлении (подробнее о фантомных агентах см [74]). Таким образом, для нахождения x_s^*

необходимо найти все $x_{s\tau}^*$, $\tau \in \Sigma$. Справедливо следующее утверждение.

Лемма 2. Набор действий $x_{s\tau}^*$, $\tau \in \Sigma$, является (с точки зрения продавца) информационным равновесием (и продавец не откажется от переговоров), если и только если $x_{s\tau}^* \equiv x_s^*$ для любого $\tau \in \Sigma$ и $\theta_s' \leq x_s^* \leq \theta_s''$ где $\theta_s' = \max_{\tau \in \Sigma} \theta_{s\tau}$, $\theta_s'' = \min_{\tau \in \Sigma} \theta_{s\tau}$.

Доказательство леммы 2. \Rightarrow Пусть $x_{s\tau}^*$, $\tau \in \Sigma$, – информационное равновесие. Рассмотрим произвольное непустое τ и равновесное действие $x_{s\tau b}^*$. По определению информационного равновесия действие $x_{s\tau s}^*$ максимизирует по $x_{s\tau s}$ функцию $f_s(\theta_{s\tau s}, x_{s\tau s}, x_{s\tau b}^*)$. Иначе говоря, $s\tau s$ -агент (продавец) ожидает от $s\tau b$ -агента (покупателя) действие $x_{s\tau b}^*$. Далее, соотношение $\theta_{s\tau s} > x_{s\tau b}^*$ означает, что $s\tau s$ -агент (продавец) ожидает от оппонента заявки, меньшей его субъективной цены; следовательно, субъективно оптимальным для него будет отказ от переговоров и сделка не состоится, что противоречит предположению. Значит, $\theta_{s\tau s} \leq x_{s\tau b}^*$ (субъективная цена продавца не превосходит заявленной цены покупателя). Но тогда, очевидно, $x_{s\tau s}^* = x_{s\tau b}^*$ – для продавца оптимально назвать цену, совпадающую с ценой покупателя.

Аналогично показывается, что, если $x_{s\tau b}^*$ – равновесное действие, то $\theta_{s\tau b} \geq x_{s\tau s}^*$ и $x_{s\tau b}^* = x_{s\tau s}^*$.

Таким образом, для произвольного τ справедливы соотношения $x_{s\tau}^* = x_s^*$, $\theta_{s\tau s} \leq x_s^* \leq \theta_{s\tau b}$. Поскольку структура информированности имеет конечную сложность, попарно различных элементов $\theta_{s\tau}$ конечное число. Поэтому из последнего неравенства следует, что $\theta_s' \leq x_s^* \leq \theta_s''$.

\Leftarrow Пусть число x_s^* таково, что $\theta_s' \leq x_s^* \leq \theta_s''$. Тогда для любого $\tau \in \Sigma$ имеем $\theta_{s\tau} \leq x_s^* \leq \theta_{s\tau b}$, $\theta_{s\tau s} \leq x_s^* \leq \theta_{s\tau}$. Поэтому набор действий $x_{s\tau}^* = x_s^*, \tau \in \Sigma$, является (с точки зрения продавца) информационным равновесием и продавец не откажется от переговоров (заметим, что соотношения (1) выполнены). Лемма 1 доказана.

Аналогичный факт, как нетрудно проверить, справедлив и для покупателя. Объединяя эти два факта, получаем следующее утверждение.

Утверждение 7. Набор действий $x_\sigma^*, \sigma \in \Sigma_+$, является информационным равновесием (и сделка будет совершена), если и только если для любого $\tau \in \Sigma$ справедливы соотношения $x_{s\tau}^* = x_s^*$, $x_{b\tau}^* = x_b^*$ и $\theta_s' \leq x_s^* \leq \theta_s''$, $\theta_b' \leq x_b^* \leq \theta_b''$ где $\theta_s' = \max_{\tau \in \Sigma} \theta_{s\tau s}$, $\theta_s'' = \min_{\tau \in \Sigma} \theta_{s\tau b}$, $\theta_b' = \max_{\tau \in \Sigma} \theta_{b\tau s}$, $\theta_b'' = \min_{\tau \in \Sigma} \theta_{b\tau b}$.

Утверждение 7, в частности, показывает, каким образом следует сформировать структуру информированности игры в случае, когда управляющий орган (центр), во-первых, имеет возможность формировать любую структуру, и, во-вторых, стремится обойтись наиболее простой.

Пусть, например, центр стремится обеспечить заключение сделки по цене, где $\theta_s \leq \theta^* \leq \theta_b$, т.е. сделать θ^* единственной равновесной ценой. Тогда достаточно сформировать у агентов структуры информированности следующего вида: $I_s = (\theta_s, \theta^*, \theta^*, \theta^*, \dots)$, $I_b = (\theta_b, \theta^*, \theta^*, \theta^*, \dots)$. Нетрудно видеть, что при этом $\theta_s' = \theta_s'' = \theta_b' = \theta_b'' = \theta^*$. Поэтому, согласно утверждению, единственным информационным равновесием будет то, для которого $x_s^* = x_b^* = \theta^*$. Заметим, что это информационное равновесие является *стабильным* т.е. сделка будет заключена именно по той цене, на которую рассчитывали агенты, делая свои заявки.

Сделаем следующее важное замечание: мы исходим из предположения о том, что центр может сформировать у агентов *любую* структуру информированности. В рамках этого предположения нас

интересует следующий вопрос: *какой* должна быть эта структура. Вопрос о том, *как* центру надлежит ее формировать, выходит за рамки настоящей работы и требует особого рассмотрения с привлечением данных психологии, социологии и пр.

Рассмотрим следующий пример: пусть субъективная цена продавца составляет 20, покупателя – 50, и центр стремится обеспечить совершение сделки по цене 40. Тогда ему следует сообщить продавцу следующее: «покупатель считает: субъективные цены покупателя и продавца равны 40, и это – общее знание», а покупателю – следующее: «продавец считает: субъективные цены продавца и покупателя равны 40, и это – общее знание». Тем самым, формируются следующие структуры информированности агентов: $I_s = (20, 40, 40, 40, \dots)$, $I_b = (50, 40, 40, 40, \dots)$. Оба агента подадут заявки 40, и сделка состоится.

Модель динамики переговоров. Пусть игра покупателя и продавца заключается в многократном одновременном выборе ими предложений о цене сделки (стоимости договора) – обозначим эти предложения соответственно y_b^k и y_s^k , $k = 1, 2, \dots$ – периоды времени (моменты выбора и сообщения предложений). Сделка заключается в первый момент времени, такой, что предложение покупателя превышает предложение продавца, по цене, определяемой, например, механизмом компромисса (8)-(10).

Обозначим $h^k = (y_b^1, y_s^1, y_b^2, y_s^2, \dots, y_b^{k-1}, y_s^{k-1})$ – историю игры в момент k , $k = 2, 3, \dots$.

Пусть участники переговоров используют некоторые стратегии – процедуры принятия решений о сообщаемых в каждом периоде предложениях в зависимости от своих истинных оценок θ_s и θ_b и истории игры, сложившейся к моменту принятия решений. Обозначим эти процедуры принятия решений $g_s(k, h^k, \theta_s, w_s)$ и $g_b(k, h^k, \theta_b, w_b)$, где w_s и w_b – скалярные параметры, $k = 2, 3, \dots$.

Относительно информированности участников предположим, что *общим знанием* [74] являются: истинные оценки θ_s и θ_b , начальная точка (y_b^1, y_s^1) , и процедуры принятия решений с точно-

стью до параметров¹ w_s и w_b , которые достоверно известны лишь соответствующим участникам (продавцу известно w_s , покупателю – w_b).

В рассматриваемой модели нерелексирующие игроки являются пассивными, и траектория определяется только начальной точкой и процедурой принятия решений.

Более сложной является ситуация, когда продавец и покупатель анализируют представления друг друга о параметрах w_s и w_b . Если под более высоким рангом рефлексии при этом понимать способность агента точно имитировать ход мыслей оппонента и предсказывать его действия, то получаем модель *стратегической рефлексии* [74] – рефлексивную игру, в которой выигрывает агент, имеющий больший ранг рефлексии. Игра эта в некотором роде бессмысленна, так как цель каждого агента заключается в том, чтобы угадать ранг рефлексии оппонента, что также является рефлексивной игрой и т.д. до бесконечности – построить в рассматриваемой игре разумное равновесие (как устойчивый и прогнозируемый исход игры) не представляется возможным и с этой точки зрения ведение переговоров является отчасти искусством.

И, наконец, наверное, самой сложной является модель, в которой участники осуществляют активную идентификацию существенных параметров оппонентов, осознавая при этом, что выбираемые ими стратегии являются, в свою очередь, исходной информацией для реализации аналогичной идентификации оппонентами. Элементарным примером может служить взаимодействие нерелексирующего и релексирующего агентов. На основании наблюдаемых выборов оппонента релексирующий игрок может восстановить существенные параметры первого, и в дальнейшем манипулировать им, то есть, достигать выгодного для себя «равновесия» (см. также эффект обмена ролями в динамических моделях теории активных систем [70]).

Приведем пример. На рисунке 6 на плоскости предложений продавца и покупателя нанесены следующие точки: истинные представления $\theta_s < \theta_b$ участников переговоров о ценности товара,

¹ Конечно, можно ввести асимметричную информированность относительно истинных оценок и начальной точки, однако это приведет лишь к «техническому» усложнению модели – основные выводы останутся в силе.

прямая AC представляет собой множество возможных компромиссов, треугольник ADC – область переговоров.

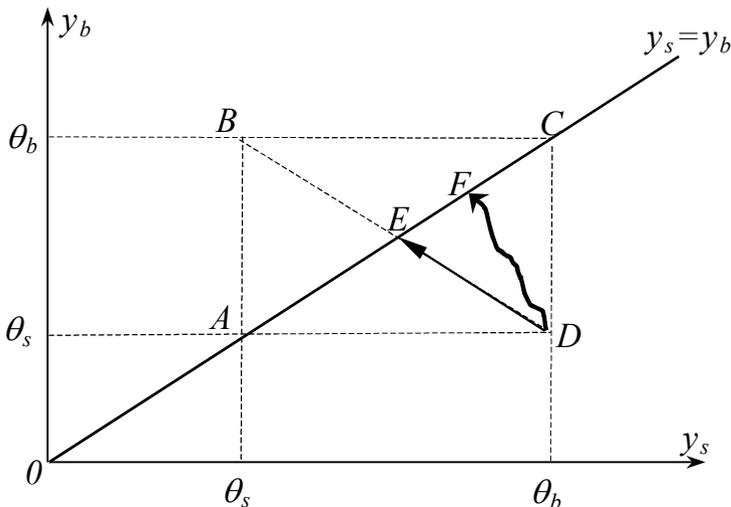


Рис. 6. Область переговоров ACD и точки компромисса: E («нерефлексивная») и F («рефлексивная»)

Точка A наиболее предпочтительна для покупателя, точка C – для продавца. Если $\theta_{sb} = \theta_b$ и $\theta_{bs} = \theta_s$, то $y_b^1 = \theta_s$, $y_s^1 = \theta_b$, то есть, покупатель назовет «цену» продавца, а продавец – покупателя (см. точку D). Так как $\theta_s < \theta_b$, то сделка при таких предложениях произойти не может. Следовательно, необходим компромисс. Примером применения механизма компромисса (11) при $\alpha = 1/2$ является точка компромисса E.

В динамике компромисс заключается в последовательных уступках в соответствии с процедурами $g_s(\cdot)$ и $g_b(\cdot)$. Если один агент не рефлексивен, а второй рефлексивен, то ему следует идти на минимальные компромиссы, побуждающего первого делать соответствующие уступки. Так, например, стартовав из точки D, рефлексивный продавец может предсказать поведение нерефлексивного покупателя и, манипулируя им, добиться более выгодного для себя, чем точка E, равновесия, например, равновесия F.

Завершив рассмотрение примера, отметим, что систематическое изучение активной идентификации в рефлексивных моделях динамики является перспективной задачей дальнейших исследований в теории управления социально-экономическими системами.

Модель определения затрат исполнителя. Настоящая модель наиболее тесно связана с рассмотренными в разделах 5.1-5.3 нерефлексивными теоретико-игровыми моделями определения параметров договора на основании анализа оптимального действия исполнителя, то есть действия, максимизирующего разность между доходом заказчика и затратами исполнителя.

Предположим, что заказчик (покупатель) имеет целевую функцию

$$(12) \Phi(y, \sigma) = H(y) - \sigma(y),$$

представляющую собой разность между его доходом $H(y)$ от деятельности (действия) $y \in A = \mathfrak{R}_+^1$ исполнителя (продавца – товаром являются работы по договору) и стимулированием, выплачиваемым исполнителю (стоимость договора).

Относительно целевой функции исполнителя предположим, что она имеет вид:

$$(13) f(y, \sigma, \theta) = \sigma(y) - c(y, \theta),$$

то есть определяется разностью между стоимостью договора и затратами $c(y, \theta)$, зависящими от действия исполнителя $y \in A$ и скалярного параметра $\theta \in \Omega \subseteq \mathfrak{R}_+^1$, причем $\forall \theta \in \Omega \quad c(\theta, \theta) = \theta$ и $\forall y \in A \quad c(y, \theta)$ является невозрастающей функцией $\theta \in \Omega$. Другими словами, содержательно параметр θ может интерпретироваться как квалификация (эффективность деятельности) исполнителя.

Таким образом, в настоящей модели присутствует единственный неопределенный параметр – эффективность деятельности исполнителя $\theta \in \Omega$, значение которого достоверно известно исполнителю, но неизвестно заказчику.

Если бы значение θ было общим знанием, то в соответствии с результатами раздела 5.1 оптимальным было бы следующее действие исполнителя:

$$(14) y^*(\theta) = \arg \max_{y \in A} [H(y) - c(y, \theta)].$$

Например, если $H(y) = y$, $c(y, \theta) = y^2 / 2 \theta$, то $y^*(\theta) = \theta$.

Если истинное значение эффективности исполнителя, которое ему самому достоверно известно, неизвестно заказчику, то он вынужден использовать ту или иную процедуру устранения неопределенности. Перечислим некоторые возможные варианты.

Во-первых, заказчик может использовать принцип максимального гарантированного результата:

$$(15) y^c = \arg \max_{y \in A} [H(y) - \max_{\theta \in \Omega} c(y, \theta)],$$

рассчитывая на прибыль $\max_{y \in A} [H(y) - \max_{\theta \in \Omega} c(y, \theta)]$.

Во-вторых, заказчик может использовать те или иные механизмы с сообщением информации исполнителем относительно эффективности его деятельности [16, 83], или предлагать последнему меню договоров в соответствии с результатами, приведенными в [47, 115].

Третий вариант поведения заказчика заключается в том, чтобы либо сделать конкретные предположения о свойствах функции затрат исполнителя и подставить их в выражение (14), либо осуществлять *информационную рефлексивную рефлексию* [74] по поводу значений параметра $\theta \in \Omega$. Рассмотрим последний случай более подробно.

Информационная структура рассматриваемой рефлексивной игры приведена на рисунке 7.

В силу того, что истинное значение параметра θ достоверно известно исполнителю, информативными являются не все компоненты структуры информированности, а только приведенные в таблице 4 (так как дерево структуры информированности в общем случае бесконечно, то в таблице 4 приведены параметры, соответствующие первым четырем рангам рефлексии).

Табл. 4. Существенные компоненты структуры информированности

Ранг рефлексии	0	1	2	3	4
Существенные компоненты	θ_b	θ_{sb}	θ_{bsb}	θ_{sbsb}	θ_{bsbsb}

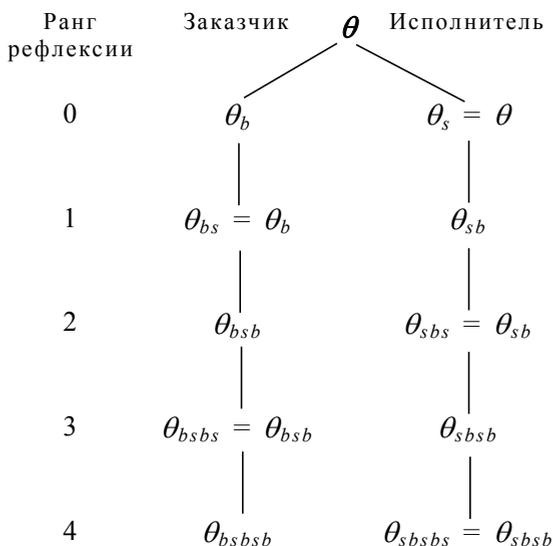


Рис. 7. Структуры информированности заказчика и исполнителя

Из проведенного анализа следует справедливость следующего утверждения.

Лемма 3. В рефлексивной модели определения затрат исполнителя можно ограничиться рассмотрением нечетных рангов рефлексии исполнителя ($2k + 1$) и четных рангов рефлексии заказчика ($2k$), $k = 0, 1, 2 \dots$. Эти данные позволяют однозначно восстановить всю структуру информированности игры.

Так как модель с общим знанием рассматривалась выше (см. выражение (14); граф рефлексивной игры для этого случая имеет вид: $B \leftrightarrow S$), то рассмотрим несколько более сложную модель, для которой граф иерархической рефлексивной игры имеет вид $S \leftarrow B \leftrightarrow BS$. Если «первый ход» делает заказчик, он предлагает исполнителю договор стоимостью $c(y^*(\theta_b), \theta_b)$. В соответствии с выражением (14), в данной модели заказчик соглашается в случае, если выполнено

(16) $\theta_b \leq \theta$.

При этом заказчик получает прибыль

$$u_b^0 = H(y^*(\theta_b)) - c(y^*(\theta_b), \theta_b),$$

а прибыль исполнителя равна

$$(17) u_s^0 = c(y^*(\theta_b), \theta_b) - c(y^*(\theta_b), \theta),$$

где $y^*(\cdot)$ определяются выражением (14).

Если же $\theta_b > \theta$, то взаимодействие между данными заказчиком и исполнителем невозможно, так как последний (в силу условия его индивидуальной рациональности) откажется заключать договор, стоимость которого не компенсирует затрат.

Итак, в рассматриваемой модели можно, варьируя $\theta_b \leq \theta$, любую точку θ_b сделать информационным равновесием. Заметим, что и здесь, как и в модели купли-продажи, информационное равновесие является стабильным – заказчик ожидает от исполнителя принятия договора, что и будет реализовано.

Рассмотрение более сложных структур информированности является в данной модели неоправданным – оно не дает ничего нового по сравнению с соотношениями (14), (16), (17). Это связано с тем, что исполнитель является по существу пассивным участником ситуации – он может лишь принять или отвергнуть тот единственный контракт, который «навязывает» ему делающий первый ход заказчик. При этом величины θ_{sb} , θ_{sbs} и т. д. не играют роли.

С другой стороны, заказчик также знает об этой «пассивности» исполнителя, поэтому при определении договора он учитывает лишь θ_b , но не величины, соответствующие более высокому рангу рефлексии – θ_{bs} , θ_{bsb} и т.д.

Таким образом, в настоящем разделе рассмотрены модели и методы определения параметров договора. В соответствии с перечисленными во втором разделе задачами управления договорами, перейдем к рассмотрению задач планирования, выбора контрагентов и оперативного управления.

6.3. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ СОГЛАШЕНИЯ

На практике распространены ситуации, когда взаимовыгодные для сторон параметры заключенного договора становятся невыгодными в силу изменившихся обстоятельств, внешних условий,

ошибок прогнозирования и планирования и т.д. Тогда у одной (или одновременно у обоих) сторон возникает желание изменить параметры договора – внести дополнительные соглашения. Такую ситуацию назовем *перезаключением договора* (пересоглашением контракта).

В соответствии с подходом, предложенным в [26], примем, что пересоглашение контракта происходит в том, и только в том случае, если каждому из участников системы (заказчику 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 блокировать пересоглашение, и старый контракт остается в силе. Отметим, что, так как заказчик выражает интересы системы в целом (эффективность управления определяется через его целевую функцию – см. пятый раздел), 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 (найти параметры нового договора), обеспечивающий всем участникам не меньшие полезности.

В литературе по теории контрактов различают контракты с обязательствами и контракты без обязательств (см. подробный обзор современных моделей пересоглашения контрактов и ссылки в [65, 117]). В первом случае, если кто-либо из участников 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 заказчик и исполнитель следуют условиям первоначального контракта и когда они (оба!) следуют условиям нового контракта. В контрактах без обязательств участники могут нарушать условия первоначального контракта, выбирая стратегии, которые являются оптимальными с учетом вновь поступившей

информации. Ниже мы ограничимся рассмотрением контрактов с обязательствами.

Рассмотрим аспекты дополнительных соглашений в рамках модели договорных отношений, введенной в разделе 5.1.

Пусть функции дохода заказчика и затрат исполнителя зависят от неопределенных параметров – соответственно $\lambda \geq 0$ и $r > 0$: $H(y, \lambda)$ и $c(y, r)$. Содержательно λ может интерпретироваться как внешняя цена продукции, производимой исполнителем, r – как эффективность деятельности исполнителя. Допустим, что $\forall \lambda \geq 0$ $H(0, \lambda) = 0$ и $\forall r > 0$ $c(y, r) = 0$.

Таким образом,

$$(1) \Phi(\sigma(\cdot), y, \lambda) = H(y, \lambda) - \sigma(y),$$

$$(2) f(\sigma(\cdot), y, r) = \sigma(y) - c(y, r).$$

Пусть договор заключался при значениях λ_0 и r_0 (фактических или прогнозируемых). Вычислим оптимальное с точки зрения заказчика действие исполнителя:

$$(3) x^*(\lambda_0, r_0) = \arg \max_{y \in A} [H(y, \lambda_0) - c(y, r_0)].$$

Тогда оптимальные параметры исходного договора¹ (в рамках компенсаторной системы стимулирования – см. раздел 5.1) – действие исполнителя $x^*(\lambda_0, r_0)$ и вознаграждение $c(x^*(\lambda_0, r_0), r_0)$. В рамках исходного договора полезность заказчика равна

$$(4) \Delta(\lambda_0, r_0) = H(x^*(\lambda_0, r_0), \lambda_0) - c(x^*(\lambda_0, r_0), r_0),$$

а полезность исполнителя равна нулю (в силу принципа компенсации затрат).

Фактические значения параметров λ и r могут отличаться от прогнозируемых λ_0 и r_0 , что может приводить к тому, что фактические полезности заказчика и исполнителя могут отличаться от прогнозируемых.

Определим следующие величины:

$$(5) \Delta(\lambda_0, \lambda, r_0, r) = H(x^*(\lambda_0, r_0), \lambda) - c(x^*(\lambda_0, r_0), r),$$

$$(6) \delta(\lambda_0, \lambda, r_0, r) = c(x^*(\lambda_0, r_0), r) - c(x^*(\lambda_0, r_0), r_0),$$

$$(7) \Delta(\lambda, r) = H(x^*(\lambda, r), \lambda) - c(x^*(\lambda, r), r).$$

¹ Напомним, что в рамках рассматриваемых теоретико-игровых моделей контракт (договор) определяется парой – («действие исполнителя»; «вознаграждение со стороны заказчика»).

Выражение (5) определяет полезность заказчика при изменившихся условиях в рамках исходного договора, выражение (6) – полезность исполнителя при изменившихся условиях в рамках исходного договора, выражение (7) – полезность .

Предположим, что функция затрат исполнителя монотонно убывает с ростом параметра r . Рассмотрим два случая.

В первом случае $r < r_0$. Тогда полезность исполнителя $\delta(\lambda_0, \lambda, r_0, r) < 0$, и для него пересмотр условий договора выгоден. Для заказчика заключение договора с параметрами $(x^*(\lambda, r); c(x^*(\lambda, r), r))$ выгодно, если выполнено следующее неравенство:

$$(8) \Delta(\lambda, r) \geq \Delta(\lambda_0, \lambda, r_0, r).$$

Во втором случае $r > r_0$. Тогда полезность исполнителя $\delta(\lambda_0, \lambda, r_0, r) > 0$, и для него пересмотр условий договора выгоден только если он при новых условиях договора получит полезность не менее $\delta(\lambda_0, \lambda, r_0, r)$. Тогда условие выгоды перезаключения договора для заказчика можно записать в виде:

$$(9) \Delta(\lambda, r) - \delta(\lambda_0, \lambda, r_0, r) \geq \Delta(\lambda_0, \lambda, r_0, r).$$

Таким образом, мы доказали справедливость следующего утверждения.

Утверждение 8. Если функция затрат исполнителя монотонно убывает с ростом параметра r , то при $r < r_0$ условием пересоглашения является выполнение неравенства (8), а при $r > r_0$ условием пересоглашения является выполнение неравенства (9).

В заключение настоящего подраздела рассмотрим пример, в котором функция дохода заказчика равна $H(y, \lambda) = \lambda y$, $\lambda \geq 0$, а функция затрат исполнителя – $c(y, r) = y^2 / 2 r$, $r > 0$.

Тогда $y_0 = \lambda_0 r_0$ – оптимальное с точки зрения заказчика действие исполнителя при параметрах $(\lambda_0; r_0)$. Платеж в исходном договоре равен $(\lambda_0)^2 r_0 / 2$. Заказчик при этом рассчитывает получить полезность $\Phi_0(\lambda_0; r_0) = (\lambda_0)^2 r_0 / 2$, а исполнителю гарантируется нулевая полезность.

Если значения параметров оказываются равными $(\lambda; r)$, то при $r \geq r_0$ в рамках исходного договора заказчик получает полезность $\Phi(\lambda_0; \lambda; r_0; r) = \lambda_0 r_0 (\lambda - \lambda_0 / 2)$, а исполнитель – $f(\lambda_0; \lambda; r_0; r) = (\lambda_0)^2 r_0 (r - r_0) / 2 r$. Если же $r < r_0$, то в рамках ис-

ходного договора полезность исполнителя отрицательна, и он откажет работать, выбрав нулевое действие.

Если заключается новый контракт с действием $y = \lambda r$ и платежом $\lambda^2 r / 2$, то полезность заказчика равна $\Phi(\lambda; r) = \lambda^2 r / 2$, а полезность исполнителя – нулю. Рассмотрим возможные варианты.

Если $r < r_0$, то исполнитель безразличен к перезаключению контракта, так как при любых значениях параметра λ он получает нулевую полезность. Центру перезаключение выгодно, если выполнено следующее условие: $\Phi(\lambda; r) \geq \Phi(\lambda_0; \lambda; r_0; r)$, то есть должно иметь место $\lambda^2 r - 2 \lambda \lambda_0 r_0 + r_0 (\lambda_0)^2 \geq 0$.

Если $r < r_0$, то $f(\lambda_0; \lambda; r_0; r) = (\lambda_0)^2 r_0 (r - r_0) / 2 r \leq 0$, и исполнитель, будет выбирать нулевое действие, если центр не предложит ему договор, в котором пообещает вознаграждение $\lambda^2 r / 2 + (\lambda_0)^2 r_0 (r - r_0) / 2 r$ за выбор действия $y = \lambda r$. Легко проверить, что сделать такое предложение заказчику всегда выгодно (так как $\Phi(\lambda_0; \lambda; r_0; r) = \lambda_0 r_0 (\lambda - \lambda_0 / 2) \geq \lambda^2 r / 2 - (\lambda_0)^2 r_0 (r - r_0) / 2 r$).

Итак, перезаключение договора произойдет (так как оно будет выгодно обоим сторонам, если при $r < r_0$ выполнено условие

$$\lambda^2 r - 2 \lambda \lambda_0 r_0 + r_0 (\lambda_0)^2 \geq 0.$$

Область значений параметров λ и r , в которой возможно перезаключение договора при начальных условиях $\lambda_0 = 8$, $r_0 = 8$, заштрихована на рисунке 8.

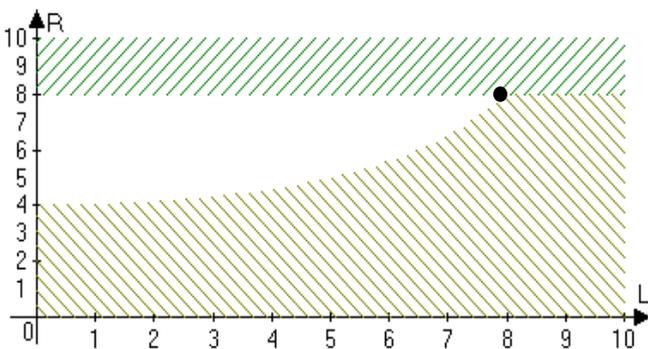


Рис. 8. Область значений параметров λ и r , в которой возможно изменение условий договора

Таким образом, в настоящем разделе исследованы условия пересоглашения договоров (заключения дополнительных соглашений) в системе с одним заказчиком и одним исполнителем. Полученные результаты свидетельствуют, что, если пересоглашение возможно, то следует пересматривать условия контракта. Анализ показывает, что пересоглашение эффективно в широком классе систем, поэтому его использование на практике оправданно и целесообразно. Перспективным направлением дальнейших исследований представляется анализ условий пересоглашения при различной информированности договаривающихся сторон (см. также раздел 6.2).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в настоящей работе исследованы теоретико-игровые и оптимизационные модели договорных отношений в управлении проектами.

Проведенный анализ позволяет сделать вывод, что договорные отношения в управлении проектами являются системообразующим и институализирующим фактором, позволяющим участникам проекта регламентировать и осуществлять согласованную с внешним окружением деятельность по достижению конечного результата.

Общими задачами управления договорами являются задачи планирования, выбора контрагентов, определения параметров договора и оперативного управления. Результаты постановки и решения этих задач свидетельствуют, что математическое моделирование является эффективным инструментом анализа и синтеза механизмов управления договорами.

Перспективным направлением исследований, помимо перечисленных в предыдущих разделах актуальных теоретических задач, представляется интеграция результатов моделирования и современных программных средств по управлению договорами.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Автономов В.С. Модель человека в экономической науке. СПб.: Экономическая школа, 1998. – 230 с.
- 2 Айзерман М.А., Алескеров Ф.Т. Выбор вариантов: основы теории. М.: Наука, 1990. – 236 с.
- 3 Андронникова Н.Г., Баркалов С.А., Бурков В.Н., Котенко А.М. Модели и методы оптимизации региональных программ развития. М.: ИПУ РАН, 2001. – 60 с.
- 4 Андронникова Н.Г., Бурков В.Н., Леонтьев С.В. Комплексное оценивание в задачах регионального управления. М.: ИПУ РАН, 2002. – 54 с.
- 5 Балашов В.Г., Заложнев А.Ю., Ивашенко А.А., Новиков Д.А. Механизмы управления организационными проектами. М.: ИПУ РАН, 2003. – 84 с.
- 6 Баркалов С.А., Бурков В.Н., Гилязов Н.М. Методы агрегирования в управлении проектами. М.: ИПУ РАН, 1999. – 55 с.
- 7 Баркалов С.А., Бурков В.Н., Курочка П.Н., Образцов Н.Н. Задачи управления материально-техническим снабжением в рыночной экономике. М.: ИПУ РАН, 2000. – 58 с.
- 8 Баркалов С.А., Бурков В.Н. Минимизация упущенной выгоды в задачах управления проектами. М.: ИПУ РАН, 2001. – 56 с.
- 9 Баркалов С.А., Новиков Д.А., Попов С.С. Индивидуальные стратегии предложения труда: теория и практика. М.: ИПУ РАН, 2002. – 109 с.
- 10 Большой энциклопедический словарь. М.: Большая Российская Энциклопедия, 2002. – 1456 с.
- 11 Бурков В.Н. Основы математической теории активных систем. М.: Наука, 1977. – 255 с.
- 12 Бурков В.Н., Горгидзе И.А., Ловецкий С.Е. Прикладные задачи теории графов. Тбилиси: Мецниереба, 1974. – 234 с.
- 13 Бурков В.Н., Горгидзе И.И., Новиков Д.А., Юсупов Б.С. Модели и механизмы распределения затрат и доходов в рыночной экономике. М.: ИПУ РАН, 1997. – 57 с.
- 14 Бурков В.Н., Данев Б., Еналеев А.К. и др. Большие системы: моделирование организационных механизмов. М.: Наука, 1989. – 245 с.

- 15 Бурков В.Н., Еналеев А.К., Новиков Д.А. Механизмы стимулирования в вероятностных моделях социально-экономических систем // Автоматика и Телемеханика. 1993. № 11. С. 3 – 30.
- 16 Бурков В.Н., Еналеев А.К., Новиков Д.А. Механизмы функционирования социально-экономических систем с сообщением информации // Автоматика и Телемеханика. 1996. № 3. С. 3 – 25.
- 17 Бурков В.Н., Заложнев А.Ю., Кулик О.С., Новиков Д.А. Механизмы страхования в социально-экономических системах. М.: ИПУ РАН, 2001. – 109 с.
- 18 Бурков В.Н., Заложнев А.Ю., Новиков Д.А. Теория графов в управлении организационными системами. М.: Синтег, 2001.–124с.
- 19 Бурков В.Н., Заложнев А.Ю., Леонтьев С.В., Новиков Д.А., Чернышев Р.А. Механизмы финансирования программ регионального развития. М.: ИПУ РАН, 2002. – 52 с.
- 20 Бурков В.Н., Квон О.Ф., Цитович Л.А. Модели и методы мультипроектного управления. М.: ИПУ РАН, 1998. – 62 с.
- 21 Бурков В.Н., Кондратьев В.В. Механизмы функционирования организационных систем. М.: Наука, 1981. – 384 с.
- 22 Бурков В.Н., Кондратьев В.В., Цыганов В.В., Черкашин А.М. Теория активных систем и совершенствование хозяйственного механизма. М.: Наука, 1984. – 272 с.
- 23 Бурков В.Н., Кузнецов Н.А., Новиков Д.А. Механизмы управления в сетевых структурах // Автоматика и Телемеханика. 2002. №12. С. 96 – 115.
- 24 Бурков В.Н., Ириков В.А. Модели и методы управления организационными системами. М.: Наука, 1994. – 270 с.
- 25 Бурков В.Н., Ланда Б.Д., Ловецкий С.Е., Тейман А.И., Чернышев В.Н. Сетевые модели и задачи управления. М.: Советское радио, 1967. – 144 с.
- 26 Бурков В.Н., Новиков Д.А. Как управлять проектами. М.: Синтег, 1997. – 188 с.
- 27 Бурков В.Н., Новиков Д.А. Теория активных систем: состояние и перспективы. М.: СИНТЕГ, 1999. – 128 с.
- 28 Вагнер Г. Основы исследования операций. М.: Мир, 1972.
- 29 Васильев Д.К., Заложнев А.Ю., Новиков Д.А., Цветков А.В. Типовые решения в управлении проектами. М.: ИПУ РАН, 2003.

- 30 Воронин А.А., Мишин С.П. Оптимальные иерархические структуры. М.: ИПУ РАН, 2003. – 210 с.
- 31 Воропаев В.И. Модели и методы календарного планирования в автоматизированных системах управления строительством. М.: Стройиздат, 1974. – 232 с.
- 32 Воропаев В.И. Управление проектами в России. М.: Аланс, 1995. – 225 с.
- 33 Гаврилов Н.Н., Карамзина Н.С., Колосова Е.В., Лысаков А.В., Цветков А.В. Анализ и управление проектами. Практический курс: Учебное пособие. М.: Изд-во Рос. Экон. акад., 2000. – 114 с.
- 34 Гаврилов Н.Н., Колосова Е.В., Лысаков А.В., Новиков Д.А., Цветков А.В. Теоретико-игровые модели договорных отношений / Труды Инженерно-экономического института. М.: Изд-во Рос. экон. акад., 2000. – 428 с., стр. 103 – 113.
- 35 Гермейер Ю.Б. Игры с противоположными интересами. М.: Наука, 1976. – 327 с.
- 36 Гилев С.Е., Леонтев С.В., Новиков Д.А. Распределенные системы принятия решений в управлении региональным развитием. М.: ИПУ РАН, 2002. – 54 с.
- 37 Голенко Д.И. Статистические методы сетевого планирования и управления. М.: Наука, 1968. – 400 с.
- 38 Горелик В.А., Кононенко А.Ф. Теоретико-игровые модели принятия решений в эколого-экономических системах. М.: Радио и связь, 1982. – 144 с.
- 39 Губко М.В. Управление организационными системами с коалиционным взаимодействием участников. М.: ИПУ РАН, 2003. – 140 с.
- 40 Губко М.В., Новиков Д.А. Теория игр в управлении организационными системами. М.: Синтег, 2002. – 148 с.
- 41 Данилов В.И. Лекции по теории игр. М.: Российская экономическая школа, 2002. – 140 с.
- 42 Иванчиков Ю.П., Лотов А.В. Математические модели в экономике. М.: Наука, 1979. – 304 с.
- 43 Интриллигатор М. Математические методы оптимизации и экономическая теория. М.: Прогресс, 1975. – 606 с.
- 44 Кини Р.Л., Райфа Х. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения. М.: Радио и связь, 1981. – 560 с.

- 45 Колосова Е.В., Новиков Д.А., Цветков А.В. Методика освоеного объема в оперативном управлении проектами. Москва, 2001. – 156 с.
- 46 Кононенко А.Ф., Халезов А.Д., Чумаков В.В. Принятие решений в условиях неопределенности. М.: ВЦ АН СССР, 1991. – 211 с.
- 47 Коргин Н.А. Неманипулируемые механизмы обмена в активных системах. М.: ИПУ РАН, 2003.
- 48 Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств. М.: Радио и связь, 1982. – 432 с.
- 49 Кочиева Т.Б., Новиков Д.А. Базовые системы стимулирования. М.: Апостроф, 2000. – 108 с.
- 50 Кукушкин Н.С., Морозов В.В. Теория неантагонистических игр. М.: МГУ, 1984. – 104 с.
- 51 Либерзон В.И. Основы управления проектами. М.: Нефтяник, 1997. – 150 с.
- 52 Лысаков А.В., Чхартишвили А.Г. Рефлексивные модели переговоров // Системы управления и информационные технологии. 2003. 1-2(12). С. 53 – 57.
- 53 Менар К. Экономика организаций. М.: ИНФРА-М, 1996.–160 с.
- 54 Месарович М., Мако Д., Такахара И. Теория иерархических многоуровневых систем. М.: Мир, 1973. – 344 с.
- 55 Мескон М., Альберт М., Хедоури Ф. Основы менеджмента. М.: Дело, 1998. – 800 с.
- 56 Мильнер Б.З. Теория организации. М.: ИНФРА-М, 2002.–480 с.
- 57 Мир управления проектами / Под. ред. Х. Решке, Х. Шелле. М.: Аланс, 1993. – 304 с.
- 58 Мокшанцев Р.И. Психология переговоров. М.: ИНФРА-М, 2002. – 352 с.
- 59 Мулен Э. Кооперативное принятие решений: аксиомы и модели. М.: Мир, 1991. – 464 с.
- 60 Нейман Д., Моргенштерн О. Теория игр и экономическое поведение. М.: Наука, 1970. – 707 с.
- 61 Нижегородцев Р.М. Информационная экономика. М.: МГУ, 2002. т. 1 – 163 с., т. 2 – 173 с., т. 3 – 170 с.
- 62 Нижегородцев Р.М. Теоретические основы информационной экономики. Владикавказ: Проект-Пресс, 1998. – 248 с.

- 63 Новиков Д.А. Институциональное управление организационными системами. М.: ИПУ РАН, 2004. – 68 с.
- 64 Новиков Д.А. Механизмы функционирования многоуровневых организационных систем. М.: Фонд "Проблемы управления", 1999. – 150 с.
- 65 Новиков Д.А. Механизмы стимулирования в динамических и многоэлементных социально-экономических системах // Автоматика и Телемеханика. 1997. № 6. С. 3 – 26.
- 66 Новиков Д.А. Обобщенные решения задач стимулирования в активных системах. М.: ИПУ РАН, 1998. – 68 с.
- 67 Новиков Д.А. Сетевые структуры и организационные системы. М.: ИПУ РАН, 2003. – 108 с.
- 68 Новиков Д.А. Стимулирование в организационных системах. М.: Синтег, 2003. – 312 с.
- 69 Новиков Д.А., Петраков С.Н. Курс теории активных систем. М.: Синтег, 1999. – 108 с.
- 70 Новиков Д.А., Смирнов И.М., Шохина Т.Е. Механизмы управления динамическими активными системами. М.: ИПУ РАН, 2002. – 124 с.
- 71 Новиков Д.А. Стимулирование в организационных системах. М.: Синтег, 2003. – 312 с.
- 72 Новиков Д.А. Стимулирование в социально-экономических системах (базовые математические модели). М.: ИПУ РАН, 1998. – 216 с.
- 73 Новиков Д.А., Чхартишвили А.Г. Активный прогноз. М.: ИПУ РАН, 2002. – 101 с.
- 74 Новиков Д.А., Чхартишвили А.Г. Рефлексивные игры. М.: Синтег, 2003. – 158 с.
- 75 Новиков Д.А., Цветков А.В. Механизмы стимулирования в многоэлементных организационных системах. М.: Апостроф, 2000. – 184 с.
- 76 Новиков Д.А., Цветков А.В. Механизмы функционирования организационных систем с распределенным контролем. М.: ИПУ РАН, 2001. – 118 с.
- 77 Ногин В.Д., Протодяконов И.О., Евлампиев И.И. Основы теории оптимизации. М.: Высшая школа, 1986. – 384 с.

- 78 Норт Д. Институты, институциональные изменения и функционирование экономики. М.: «Начала», 1997.
- 79 Ожегов С.И. Словарь русского языка. М.: Русский язык, 1988. – 750 с.
- 80 Олейник А.И. Институциональная экономика. М.: ИНФРА-М, 2002. – 416 с.
- 81 Опойцев В.И. Равновесие и устойчивость в моделях коллективного поведения. М.: Наука, 1977. – 248 с.
- 82 Опыт переходных экономик и экономическая теория / Под ред. В.В. Радаева, Р.П. Колосовой, В.М. Моисеенко, К.В. Папенова. М.: ТЕИС, 1999.
- 83 Петраков С.Н. Механизмы планирования в активных системах: неманипулируемость и множества диктаторства. М.: ИПУ РАН, 2001. – 135 с.
- 84 Пиндайк Р., Рубинфельд Д. Микроэкономика. М.: Дело, 2001. – 808 с.
- 85 Подиновский В.В., Ногин В.Д. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. М.: Наука, 1982.
- 86 Путеводитель в мир управления проектами: пер. с англ. Екатеринбург: УГТУ, 1998. – 191 с.
- 87 Саймон Г., Марш Дж. Административное поведение. М.: Мир, 1974.
- 88 Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка принятия решений. М.: Синтег, 1998. – 376 с.
- 89 Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка переговоров при согласовании управленческих решений. М.: Синтег, 2003. – 284 с.
- 90 Управление проектами. Зарубежный опыт / Под ред. В.Д. Шапиро. С.-Пб.: «ДваТри», 1993. – 443 с.
- 91 Управление проектами / Общая редакция – В.Д. Шапиро. С.-Пб.: «ДваТри», 1996. – 610 с.
- 92 Управление проектами: справочное пособие / Под ред. И.И. Мазура, В.Д. Шапиро. М.: Высшая школа, 2001. – 875 с.
- 93 Фишберн П. Теория полезности для принятия решений. М.: Наука, 1978. – 352 с.
- 94 Фишер С., Дорнбуш Р., Шмалензи Р. Экономика. М.: Дело, 1993. – 864 с.

- 95 Цветков А.В. Стимулирование в управлении проектами. М.: Апостроф, 2001. – 144 с.
- 96 Цыганов В.В. Адаптивные механизмы в отраслевом управлении. М.: Наука, 1991. – 166 с.
- 97 Щепкин А.В. Механизмы внутрифирменного управления. М.: ИПУ РАН, 2001. – 80 с.
- 98 Юдкевич М.М., Подколзина Е.А., Рябинина А.Ю. Основы теории контрактов: модели и задачи. М.: ГУ ВШЭ, 2002. – 352 с.
- 99 A guide to the project management body of knowledge (PMBOK® guide). 2000. – 215 p.
- 100 Alchian A.A. Economic forces at work. Indianapolis, 1977.
- 101 Barzel Y. Economic analysis of property rights. Cambridge, 1989.
- 102 Binmore K.G. Perfect equilibria in bargaining models / The Economics of bargaining. Oxford: Blackwell, 1987.
- 103 Coase R.H. The firm, the market, and the law. Chicago, 1988.
- 104 Czarnecki M.T. Managing by measuring: How to improve your organization's performance through effective benchmarking. N.Y.: American management association, 1999.
- 105 Dinsmore P.C. Winning in business with enterprise project management. N.Y.: American management association, 1999. – 271 p.
- 106 Fleming Q.W., Hoppelman J.M. Earned value Project Management. PMI, 1996. – 141 p.
- 107 Grossman S., Hart O. An analysis of the principal-agent problem // *Econometrica*. 1983. Vol. 51. N 1. P. 7 – 45.
- 108 Hart O.D., Holmstrom B. Theory of contracts // *Advances in economic theory*. 5-th world congress. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1987. P. 71 – 155.
- 109 Hart O.D. Optimal labor contracts under asymmetric information: an introduction // *Review of Economic Studies*. 1983. Vol. 50. N 1. P. 3 – 35.
- 110 Kalai E. Proportional solutions to bargaining situations: interpersonal utility comparison // *Econometrica*. 1977. Vol. 45. P. 1623 – 1630.
- 111 Kalai E., Smorodinsky M. Other solutions to the Nash bargaining problem // *Econometrica*. 1975. Vol. 43. P. 513 – 518.
- 112 Kerzner H. Project management: a systems approach to planning, scheduling and controlling. N.Y. John Wiley & Sons, 1998.

- 113** Kliem R.L., Ludin I.S. Project management practitioner's book. N.Y.: American Management Association, 1998.
- 114** Lientz B.P., Rea K.P. Project management for the 21-st century. San Diego: Academic Press, 1998.
- 115** Mas-Collel A., Whinston M.D., Green J.R. Microeconomic theory. N.Y.: Oxford Univ. Press, 1995. – 981 p.
- 116** Milgrom P.R., Roberts J. Bargaining costs, influence costs, and the organization of economic activity / Perspectives on positive political economy. Cambridge, 1990.
- 117** Moore J. Implementation, contracts and renegotiations in environment with complete information / Advances in Economic Theory. Vol. 1. Cambridge: Cambridge University Press, 1992. P. 182 – 281.
- 118** Myerson R.B. Game theory: analysis of conflict. London: Harvard Univ. Press, 1991. – 568 p.
- 119** Nash J.F. The bargaining problem // *Econometrica*. 1950. Vol. 18. P. 155 – 162.
- 120** Ordeshook P.C. Game theory and political theory: an introduction. Cambridge: Cambridge University Press, 1999. – 511 p.
- 121** The principles of project management / Ed. by J.S. Pennypacker. N.Y.: PMI, 1997.
- 122** Thomson W. Cooperative models of bargaining / Handbook in Game Theory. N.Y.: North-Holland, 1994. Chapter 35. P. 1237 – 1248.
- 123** Turner J.R. The handbook of project-based management. London: McGraw-Hill Companies, 1999.
- 124** Williamson O.E. The economic institutions of capitalism: firms, markets, relational contracting. N.Y., 1985.
- 125** Zhou L. The Nash bargaining problem with non-convex problems // *Economertica*. 1997. Vol. 65. P. 681 – 685.