

**БАРКАЛОВ С.А.
НОВИКОВ Д.А.
НОВОСЕЛЬЦЕВ В.И.
ПОЛОВИНКИНА А.И.
ШИПИЛОВ В.Н.**

МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ КОНФЛИКТАМИ И РИСКАМИ

Под редакцией Д.А. Новикова

Воронеж 2008

ББК 38.778
УДК 721.022 – 52.012

Авторский коллектив:

Баркалов С.А., Новиков Д.А., Новосельцев В.И., Половинкина А.И.,
Шипилов В.Н.

С 74 Модели управления конфликтами и рисками / Под ред. Д.А. Новикова – Воронеж: Научная книга, 2008. – 497 с.

Монография посвящена теоретическим вопросам управления конфликтами и рисками. На основе системного подхода строятся модели динамики конфликтов на макро-, мезо- и микроуровнях их представления. Излагаются теоретические аспекты управления конфликтами, включая особенности, виды, формы, способы и технологии управления. Рассматриваются рефлексивно-игровые модели конфликтов и механизмы управления рисками в эколого-экономических системах.

Рассчитана на научных работников и специалистов в области управления в социальных и экономических системах. Будет полезна аспирантам и студентам старших курсов, специализирующихся на проблемах моделирования и информатизации социальных и экономических процессов.

Ил. 131. Таб. 23. Библиогр.: 388 назв.

Научный редактор – Новиков Д.А., член кор. РАН д-р техн. наук, проф.

Рецензенты:

Ириков В.А., д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой инновационного менеджмента Московского государственного физико-технического университета (г. Москва)

Погодаев А.К., д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой прикладной математики Липецкого государственного технического университета (г. Липецк)

ISBN

© Баркалов С.А.,
© Новиков Д.А.,
© Новосельцев В.И.,
© Половинкина А.И.
© Шипилов В.Н.,
© «Научная книга», 2008

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	7
ЧАСТЬ 1. МОДЕЛИ ДИНАМИКИ КОНФЛИКТОВ	15
Глава 1. Макродинамика	16
1.1. Противодействие	16
1.2. Содействие	17
1.3. Эксплуатация	18
1.4. Нейтралитет и гибель	19
1.5. Модель макродинамики конфликта	22
Глава 2. Мезодинамика	31
2.1. Конфликтная ситуация	31
2.2. Латентная стадия	33
2.3. Кризис	35
2.4. Катастрофа	47
2.5. Модель мезодинамики конфликта	48
Глава 3. Микродинамика	49
3.1. Модель динамики антагонистического конфликта	50
3.2. Выбор стратегии в антагонистическом конфликте	55
Литература	60
ЧАСТЬ 2. МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ КОНФЛИКТАМИ	63
Глава 1. Базовые понятия кибернетической концепции управления	63
1.1. Классическая модель управления	63
1.2. Контур управления	65
1.3. Цель управления	67
Глава 2. Концепция управления конфликтами	72
2.1. Особенности управления конфликтами	72
2.2. Структурная модель управления конфликтами	74
2.3. Формы управления конфликтами	76
2.4. Способы управления конфликтами	77
2.5. Технологии управления конфликтами	79
2.6. Риски в конфликтах	89
Глава 3. Модели и алгоритмы координационного управления конфликтами	91
3.1. Понятие координации	91
3.2. Модель и способы координационного управления	92

3.3. Алгоритмы координационного управления	96
3.4. Параметрическая координация в многоуровневой иерархической системе с активными компонентами	102
Глава 4. Модели и алгоритмы рефлексивного управления конфликтами	109
4.1. Понятие рефлексивного управления	109
4.2. Основные свойства рефлексивного управления	111
4.3. Феноменологическая модель рефлексивного управления	114
4.4. Способы и схемы рефлексивного управления	117
4.5. Модель рефлексивного управления с подражательным механизмом	123
4.6. Модели рефлексивного управления с мотивирующим механизмом и определение условий их стационарной устойчивости	132
Глава 5. Модель поиска компромисса в неантагонистических конфликтах	145
5.1. Постановка задачи	145
5.2. Алгоритм поиска компромиссных решений	149
5.3. Устойчивость компромиссных решений	153
Глава 6. Модель партнерства в условиях соперничества	157
6.1. Полезности партнера и конкурентов	157
6.2. Доминирование в условиях конфликта интересов	159
6.3. Пассивный и активный конкуренты	161
Глава 7. Модель конкурсного управления строительными проектами	163
7.1. Идентификация проектов	165
7.2. Подготовка проектов	167
7.3. Экспертная оценка проектов	169
7.5. Утверждение, реализация и завершение проектов	175
Литература	176
ЧАСТЬ 3. МОДЕЛИ РЕФЛЕКСИВНЫХ ИГР	179
Глава 1. Информация в принятии решений	185
1.1. Индивидуальное принятие решений: модель рационального поведения	185
1.2. Интерактивное принятие решений: игры и равновесия	188

1.3. Общие подходы к описанию информированности	195
Глава 2. Стратегическая рефлексия	198
2.1. Стратегическая рефлексия в играх двух	198
2.2. Рефлексия в биматричных играх	205
2.3. Ограниченность ранга рефлексии	221
Глава 3. Информационная рефлексия	223
3.1. Информационная рефлексия в играх двух лиц	223
3.2. Информационная структура игры	228
3.3. Информационное равновесие	234
3.4. Граф рефлексивной игры	239
3.5. Регулярные структуры информированности	244
3.6. Ранг рефлексии и информационное равновесие	252
Глава 4. Прикладные модели рефлексивных игр	262
4.1. Скрытое управление	263
4.2. СМИ и информационное управление	273
4.3. Рефлексия в психологии	277
4.4. Рефлексия в художественных произведениях	284
Литература	291
 ЧАСТЬ 4. МЕХАНИЗМЫ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ В ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ	 301
Глава 1. Общие положения	313
1.1. Природные и техногенные риски	313
1.2. Методы оценки уровня риска	319
1.3. Механизмы оптимизации программ снижения уровня риска	323
Глава 2. Модели и механизмы управления риском на уровне предприятия	342
2.1. Механизмы штрафов	345
2.2. Механизмы платы за риск	355
2.3. Механизмы финансирования снижения уровня риска	360
2.4. Механизмы компенсации затрат на снижение уровня риска	361
2.5. Механизмы страхования	369
2.6. Механизмы аудита	378
2.7. Механизмы снижения ожидаемого ущерба	382

Глава 3. Модели и механизмы управления риском на региональном уровне	391
3.1. Модель управления уровнем экологической безопасности в регионе	391
3.2. Механизмы платы за риск	401
3.3. Механизмы финансирования снижения уровня риска	404
3.4. Механизмы компенсации затрат на снижение уровня риска	407
3.5. Механизмы продажи квот на уровень риска	409
3.6. Механизмы страхования	415
3.7. Механизмы экономической мотивации	429
3.8. Механизмы согласования интересов органов управления	436
Глава 4. Имитационные модели механизмов управления эколого-экономическими системами	442
4.1. Игровое имитационное моделирование механизмов управления	442
4.2. Имитационная игра «Механизмы платы за риск»	447
4.3. Имитационная игра «Механизмы стимулирования снижения уровня риска»	455
4.4. Имитационная игра «Механизмы финансирования снижения уровня риска»	459
4.5. Имитационная игра «Механизмы компенсации затрат на снижение уровня риска»	473
4.6. Имитационная игра «Механизмы продажи квот на уровень риска»	476
Литература	483

ПРЕДИСЛОВИЕ

Термины «управление конфликтами» и «управление рисками» настолько органично и широко вошли в языковую практику, что невольно складывается впечатление о наличии в современной науке достаточно четкого, однозначного понимания природы этих процессов, высокой степени их изученности. Между тем, критическая оценка реального положения дел показывает, что как в теоретическом, так и в практическом плане проблема управления конфликтами и рисками весьма далека от своего решения. Фактически, по уровню научной проработанности она только начинает выходить из стадии накопления первичных фактов, делать первые шаги на пути поиска научных обобщений и закономерностей. Тем не менее, жизнь не стоит на месте. На рубеже XX-XXI веков возникла настоятельная потребность решения задач управления конфликтами и рисками практически во всех сферах человеческой деятельности, определяя необычайную актуальность этой проблематики. Можно отметить два центральных обстоятельства, определивших повышенный интерес к этой проблематике.

Первое обстоятельство очевидно – в этот период на 1/6 части Планеты, рухнули иллюзии построения бесконфликтного общества всеобщего благоденствия и планово-централизованного хозяйства, когда проблема управления конфликтами и рисками решается идеологическими методами, невзирая ни на какие затраты. Около полумиллиарда людей вместе с их руководством оказались ввергнутыми в пучину политических, экономических, финансовых, криминальных и других конфликтов, совершенно не представляя, как правильно вести себя в этих новых условиях, и как минимизировать возникающие при этом риски.

Второе обстоятельство связано с тем, что во второй половине прошлого века был перейден некий критический рубеж во взаимоотношениях человека с природой и с самим собой. Ответ последовал незамедлительно – в нашу жизнь стали активно вторгаться новые, ранее неведомые экологические, техногенные, информационные, этнические, религиозные и военные конфликты. Медленно, но неуклонно стал изменяться планетарный климат, появились новые болезни, участились аварии с катастрофическими последствиями, бурно расцвели новые формы глобального

терроризма, национализма и религиозного фанатизма. Выяснилось, что подавляющее большинство технических и информационных систем фактически незащищено перед угрозой злоумышленников. Возникла новая остроконфликтная проблема обеспечения информационной безопасности как личности, так и государства, которая пока не нашла своего должного решения. В целом, несмотря на колоссальный научно-технический прогресс, на пороге XXI века человечество вместо гармонии и устойчивости, вошло в полосу тревоги и нестабильности. Это фатальный рубеж, отвести от которого могут только научно обоснованные действия по отношению к природе и к самим себе, умение управлять разнообразными конфликтными процессами в обществе, в природе и в технике.

В настоящее время развитие теории управления конфликтами и рисками идет по двум, относительно самостоятельным, направлениям: гуманитарному и естественнонаучному. В рамках первого направления управление этими процессами рассматривается скорее как искусство, чем рациональная теория. В нем преобладают эмпиризм и умозрительность. В результате выводы, предложения и рекомендации страдают неустойчивостью и в значительной мере определены доминирующей идеологией. Во втором случае, проблема сводится, в конечном счете, к статистическому, теоретико-игровому или структурно-игровому анализу. Теория управления конфликтами и рисками приобретает игровую окраску, что не всегда адекватно реалиям. Во многом такое положение объясняется узким пониманием существа конфликтных процессов, их упрощенным представлением в виде противостояния сторон, преследующих противоположные или не полностью совместимые интересы.

Не отрицая важности теоретических и практических результатов, полученных в рамках указанных направлений, заметим, что существуют фундаментальные концепции общей теории управления и активных систем [1, 2], позволяющие на базе системного подхода [3, 4] объединить гуманитарные и естественнонаучные традиции и органически сочетать их конструктивные стороны. На эти концепции мы и будем опираться, рассматривая вопросы управления конфликтами и рисками. При этом в качестве базовых примем следующие положения.

Во-первых, управление будем трактовать в его широком кибернетическом смысле – как воздействие управляющей подсистемы на управляемый процесс с целью сохранения его текущего состояния или перевода в нужное состояние. Иными словами, примем постулат, о том, что конфликты и сопровождающие их риски – это не стихийные или предопределенные, а управляемые процессы, то есть процессы, которые можно перевести в нужное состояние путем целенаправленного воздействия на их участников и (или) на взаимоотношения между ними. При этом управляющие воздействия могут осуществляться как со стороны надсистемы, так и со стороны самих участников конфликта, но объект управления един – собственно процесс конфликта. Конкретные цели управления определяются спецификой решаемой задачи. Вместе с тем их можно разделить на два класса – позитивные и негативные. Следуя гуманистическим традициям, мы будем исследовать вопросы управления конфликтами только с позитивной точки зрения, то есть изыскивать такие технологии, методы и способы управления, которые направлены не на разрушение систем, а на их развитие и процветание.

Во-вторых, будем рассматривать конфликт как многогранное системное явление, определяемое следующим образом:

- конфликт – специфический способ взаимодействия двух и более систем или компонентов одной системы в ходе их совместного функционирования, который порождается ресурсно-коммуникационными противоречиями между ними, развивает эти противоречия до уровня противоборства, разрешает возникшие противоречия кризисным или бескризисным путем и порождает новые противоречия;

- конфликт – разветвляющийся самоуправляемый процесс перехода количества в качество, который ведет к нарушению устойчивого функционирования системы и завершается либо ее возвратом в прежнее устойчивое состояние, либо образованием в ней нового устойчивого состояния, либо ее гибелью, дезорганизацией, банкротством;

- конфликт – слабопредсказуемое динамическое явление, в котором будущее не входит составной частью в прошлое, то есть всякое данное состояние конфликтующей системы не может быть объяснимо только из предшествовавших ему;

- конфликт – регулирующая часть самоорганизации систем любой природы, обуславливающая неустойчивый, нелинейный, необратимый характер процессов их внутреннего развития и взаимодействия со средой;

- конфликт – атрибутивное (неотъемлемое) свойство всех форм движения материи, выступающее основным фактором и движущей силой эволюционного процесса в социальных, биологических, физических, технических, технологических и других системах.

В-третьих, будем исходить из того, что основная неопределенность, которая подлежит парированию при управлении конфликтами и рисками, связана не со случайными, а с преднамеренными факторами. Конфликтующие субъекты вынуждены принимать решения и действовать в условиях неточной, неполной, а зачастую умышленно искаженной информации о намерениях и поступках других субъектов. В результате чего траектория движения управляемого процесса приобретает нелинейный характер с многочисленными точками разветвления. Эффективно управлять таким процессом традиционным способом «наблюдение → статистика → анализ → решение» невозможно. Требуются принципиально иные подходы, ориентированные на построение моделей, описывающих внутренние механизмы конфликтных взаимоотношений и возникающих при этом рисков.

В-четвертых, будем исходить из того, что конфликты (в указанном выше понимании) и риски – взаимосвязанные явления: конфликты порождают риски, а риски – конфликты. При этом под риском будем понимать не действие наугад (в надежде на счастливую случайность), а связанный с опасностью способ действия, необходимый для того, чтобы избежать еще большей опасности. Когда степень опасности (экономической, финансовой, экологической и любой другой) поддается строгой и точной оценке (логической или математической), а ресурсы неисчерпаемы, риска как такового нет. Когда же такая оценка затруднена, и оперирующая сторона ограничена в ресурсах говорят о риске. Таким образом, риск есть разумный способ действия в условиях неопределенности, слабой предсказуемости событий и ограниченности ресурсов.

Исходя из этого определения, будем выделять следующие функции рисков:

а) Стимулирующая функция, которая проявляется в двух аспектах: конструктивном и деструктивном. Конструктивная стимулирующая функция риска состоит в исследовании источников риска при проектировании операций и систем и конструировании специальных устройств, операций, форм сделок, исключая или снижающих возможные последствия риска как отрицательного отклонения. Деструктивная стимулирующая функция риска проявляется в том, что реализация решений с неисследованным или необоснованным риском может приводить к реализации объектов или операций, которые относятся к авантюрным, волюнтаристским.

б) Защитная функция, которая так же имеет два аспекта: историко-генетический и социально-правовой. Историко-генетический аспект состоит в том, что субъекты конфликта вынуждены искать средства и формы защиты от нежелательной реализации риска. В случае финансовых рисков для такой защиты используют, например, как фондовую, так и не фондовую формы страхования. Суть социально-правового аспекта защитной функции риска состоит в объективной необходимости законодательного закрепления понятия «правомерности риска», правового регулирования страховой и иной деятельности, связанной с реализацией механизмов управления рисками.

в) Дополняющая функция рисков, проявляющаяся в том, что субъект конфликта, сознательно идущий на риск, может рассчитывать как на добавочную прибыль или дополнительный успех в случае благоприятного исхода операции, так и на дополнительные потери или неудачи в случае неблагоприятного исхода операции.

Таким образом, в рамках данного исследования риск рассматривается как комплексная категория, характеризующая управленческое решение субъекта в ходе того или иного конфликта с точки зрения возможных приобретений и потерь. При этом целью управления риском является обеспечение максимально возможной при заданных условиях степени защищенности или устойчивости социальных, экономических, экологических и других систем от опасных воздействий.

В-пятых, как показывает анализ большего объема накопленных данных по вопросам управления реальными техническими, экономическими, социальными и другими процессами модель

управляемого процесса и процедура поиска рациональных управлений оказываются жестко связанными, и от того, насколько адекватно и всесторонне описан процесс, настолько эффективными будут управления. Отсюда следует, что прежде чем приступить к решению задач управления, необходимо иметь достаточно представительную системную модель того процесса, которым мы хотим и собираемся управлять. Последним положением определяется структура монографии, которая состоит из четырех частей.

Первая часть посвящена разработке системной модели динамики конфликта. В развитие традиционного подхода, когда динамика этого процесса рассматривается с точки зрения изменения его состояний, основным объектом нашего изучения будут процессы трансформирования взаимоотношений между субъектами в ходе их совместного функционирования. Таким образом, мы будем исследовать динамику конфликта как системный процесс изменения разнообразных взаимоотношений между его субъектами под давлением внешних и внутренних факторов и, соответственно, с этой позиции рассматривать вопросы управления. При этом центральная методологическая идея состоит в том, что динамику конфликта с учетом всего спектра взаимоотношений между его субъектами невозможно представить одной моделью, сколь бы сложна она ни была, – необходима иерархия взаимосвязанных моделей. Поэтому системная модель динамики конфликта представляется в виде иерархии, составленной из макро-, мезо- и микродинамических описаний, в каждом из которых вводится свое пространство состояний. В рамках этих взаимосвязанных пространств удастся формализовать процессы трансформирования отношений между субъектами конфликта, структурировать и локализовать задачи управления и построить математические модели динамики на макро-, мезо- и микро уровнях.

Во второй части, отталкиваясь от системной модели, рассматриваются некоторые узловые вопросы теории управления конфликтами, а именно: особенности, формы, виды, способы и технологии управления конфликтами. Особое внимание уделяется моделям рефлексивного и координационного управления, а также алгоритмам поиска компромиссных решений в конфликтных ситуациях. Основу этой части исследований составляет положение о том, что управление конфликтами по существу есть ни что иное, как управление взаимоотношениями конфликтующих

субъектов. Отсюда вытекает главная концепция теории и практики управления конфликтами: для того, чтобы эффективно управлять этими процессами, необходимо вскрыть внутренние механизмы образования противоречий в динамике развития конфликта и научиться приводить их в требуемое состояние путем воздействия на параметры конфликтующих субъектов и окружающую среду.

Третья часть посвящена обсуждению современных подходов к математическому моделированию рефлексии и, в первую очередь, введению в рассмотрение нового класса теоретико-игровых моделей – рефлексивных игр, описывающих взаимодействие конфликтующих субъектов, принимающих решения на основании иерархии представлений о существенных параметрах, представлений о представлениях и т.д. [5] Предложенные модели, во-первых, позволяют единообразно описывать как частные случаи, многие прикладные задачи (скрытое управление, информационное управление через СМИ, рефлексия в психологии и в художественных произведениях и др.). Во-вторых, в рамках построенных моделей появляется возможность исследования зависимости информационного равновесия и выигрышей конфликтующих сторон от их информированности (в том числе – рангов рефлексии) и, в частности, определения максимального целесообразного в той или иной ситуации ранга рефлексии. В-третьих, имея зависимость информационного равновесия от структуры информированности, можно ставить и решать задачи рефлексивного управления в части определения той структуры информированности, при которой система оказывается в требуемом равновесии.

Четвертая часть содержит результаты разработки и исследования комплекса оптимизационных, теоретико-игровых и имитационных моделей механизмов управления эколого-экономическими системами [6], включающего механизмы: комплексного оценивания интегрального риска и ущерба, штрафов, платы за риск, финансирования снижения уровня риска, компенсации затрат на снижение уровня риска, продажи квот на уровень риска, аудита, снижения ожидаемого ущерба, экономической мотивации, оптимизации региональных программ, согласования интересов органов управления.

При написании отдельных глав данной монографии принимали участие ученики и коллеги авторов: к.т.н. В.И.Алферов, А.С. Амплеев, Е.Г. Аноприенко, к.т.н. М.В. Аржаков, к.т.н. Н.В. Аржакова, к.т.н. П.С. Баркалов, к.т.н. А.С. Баскаков, к.т.н. В.Е. Белоусов, А.А. Белов, А.Е. Бережецкая, П.В. Березнев, к.т.н. И.В. Буркова, Е.А. Власова, С.В. Володин, А.П. Глухов, В.С. Гнездилов, к.т.н. Б.Е. Дёмин, А.М. Дудин, Р.В. Ещенко, С.В. Лукьянов, д.т.н. В.Н. Колпачев, д.т.н. А.М. Котенко, Р.П. Калугин, А.Е. Кравцов, Г.О. Манухов, А.Л. Маилян, Н.Ф. Мирзебалаев, А.Н. Овсянникова, П.В. Павлов, Ю.А. Петренко, А.Ю. Пинигин, С.В. Пирогов, Ю.В. Полевой, к.э.н. С.А. Пузырев, А.В. Сенюшкин, В.О. Скворцов, Д.Н. Стеганцев, к.т.н. В.А.Сырцов, к.т.н. А.П. Сычев, к.т.н. Б.В.Тарасов, В.Г. Тельных, Д.А. Тютерев, Ю.А. Черенков, В.И. Швей, д.т.н. А.В. Щепкин, В.Н Шумилкин, В.В. Хачатрян, к.э.н. Н.В. Хорохордина, И.А. Урманов, А.Г. Янин.

Литература

1. Новиков Д.А. Теория управления организационными системами. – 2-е изд. – М.: Физматлит. 2007. – 584 с.
2. Бурков В.Н. Основы математической теории активных систем. – М.: Наука, 1977. – 255 с.
3. Новосельцев В.И. Системный анализ: современные концепции / изд. 2-е испр. и доп. – Воронеж: Кварта, 2003. – 320 с.
4. Баркалов С.А., Бурков В.Н., Курочка П.Н., Новосельцев В.И., Шульгин В.В. Системный анализ и его приложения: учебное пособие // Под ред. В.Н. Буркова. – Воронеж: «Научная книга», 2008. – 439 с.
5. Новиков Д.А., Чхартишвили А.Г. Рефлексивные игры. – М.: СИНТЕГ, 2003. – 149 с.
6. Бурков В.Н., Новиков Д.А., Щепкин А.В. Механизмы управления эколого-экономическими системами / Под ред. академика С.Н. Васильева. – М.: Физматлит. 2008. – 244 с.

ЧАСТЬ 1. МОДЕЛИ ДИНАМИКИ КОНФЛИКТОВ

Динамика конфликта – это его развитие, движение во времени и в пространстве состояний. До недавнего времени считалось, что этот процесс достаточно прост в структурном отношении и выражается в том, что в своем развитии любой конфликт последовательно проходит определенные стадии, в частности, такие как конфликтная ситуация, латентная стадия, кризис и другие. На самом деле динамическая структура конфликта представляет собой чрезвычайно многообразный и несравненно более сложный процесс. При его изучении не хватает вербальных умоуизательных

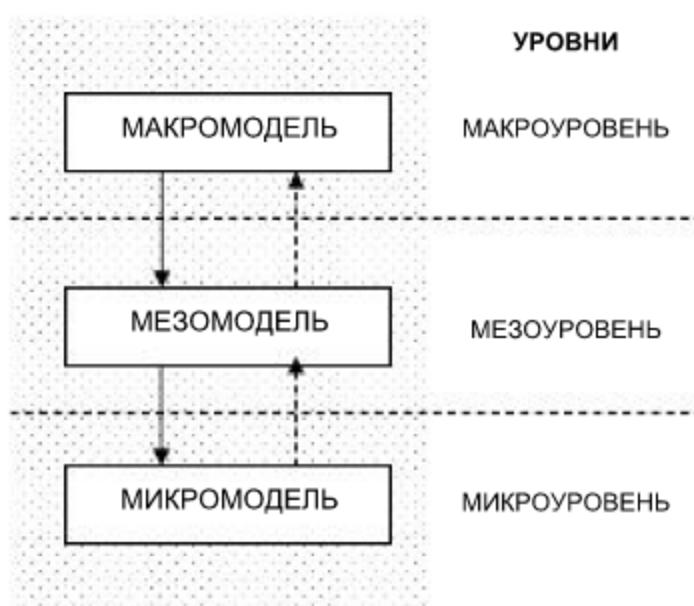


Рис. 1.1. Представление модели динамики конфликта в виде трехуровневой иерархии

описаний, требуется построение моделей, позволяющих понять сущность развития конфликта и в определенной мере спрогнозировать возможный характер его движения. При этом моделирование не следует рассматривать в качестве самоцели: модель – есть рабочий инструмент, помогающий обосновывать рациональные технологии и эффективные способы управления конфликтными

процессами. Несомненное достоинство модельного подхода к изучению конфликтов заключается в том, что открывается возможность использования современных информационно-компьютерных технологий для разрешения конкретных конфликтных проблем. Относительным недостатком такого подхода является его сложность. Приходится мириться – сложен объект изучения.

Следуя системному подходу, будем различать макро-, мезо- и микродинамику и, соответственно, рассматривать общую модель изучаемого конфликта в виде иерархии, составленной из макро-, мезо- и микродинамических моделей, связанных между собой так, как это показано на рис. 1.1. Целесообразность такого представления модели динамики конфликта обусловлена известным

синергетическим принципом «регулирующих параметров порядка» [25, 26], согласно которому: а) динамика конфликта (как и любого другого явления) рассматривается как самоорганизующийся процесс, в котором образование новых качеств происходит вследствие взаимодействия соподчиненных уровней; б) количество выделяемых уровней должно обеспечивать минимально допустимое представление о сущности изучаемого процесса, чему соответствует трехуровневая иерархия; в) различие между уровнями определяется метрикой выбранного пространства состояний; г) характер взаимодействия между уровнями обуславливается ограниченным числом характеристик на соподчиненных уровнях, что позволяет сократить объем учитываемых факторов без существенных потерь в точности описания изучаемого процесса.

ГЛАВА 1. МАКРОДИНАМИКА

Макродинамическая модель описывает развитие конфликта в пространстве укрупненных состояний, в качестве которых примем противодействие (S_{--}), содействие (S_{++}), эксплуатацию (S_{+-}) и нейтралитет (S_{00}). Помимо этого введем некое конечное состояние, которое назовем гибелью системы (S_0). Будем так же полагать, что функционирование каждой из конфликтующих систем характеризуется эффективностью E , а их цель заключается в максимизации эффективности, что обозначим записью $E \rightarrow \max E$. Формализуем перечисленные состояния.

1.1. ПРОТИВОДЕЙСТВИЕ

Противодействием назовем состояние взаимоотношения конфликтующих субъектов, характеризующееся отрицательным влиянием на функционирование друг друга. В случае конфликта двух систем, когда их функционирование на некотором интервале времени ΔT описывается непрерывными функциями Эффективности $E_1(E_2)$, $E_2(E_1)$, противодействие можно определить так: S_{--} : $(\delta E_1 / \delta E_2 < 0) \wedge (\delta E_2 / \delta E_1 < 0)$, где знак « \wedge » соответствует логическому «и», $\delta E_1 / \delta E_2$ и $\delta E_2 / \delta E_1$ – функциональные производные, значения которых характеризуют интенсивности влияния сторон друг на друга, а знаки – направление влияния [12]. Так, запись

$\delta E_1/\delta E_2 < 0$ означает, что вторая сторона оказывает отрицательное влияние на первую. Если $\delta E_1/\delta E_2 > 0$, то вторая сторона положительно влияет на первую. При $\delta E_1/\delta E_2 = 0$ вторая сторона не оказывает влияния на первую. В состоянии противодействия S_{-} выделим антагонизм, S^1_{-} , строгое соперничество S^2_{-} и нестрогое соперничество S^3_{-} ($S_{-} = \langle S^1_{-}, S^2_{-}, S^3_{-} \rangle$), которые формально определим следующим образом [6, 8].

Антагонизм – предельно высокая степень противодействия, при котором достижение цели одной стороной исключает достижение цели другой стороной (компромисс невозможен), что формально выражается логической записью: S^1_{-} : $[(\delta E_1/\delta E_2 < 0) \wedge (\delta E_2/\delta E_1 < 0)] \wedge [\max E_1 \Leftrightarrow (E_2 = 0), \max E_2 \Leftrightarrow (E_1 = 0)]$, где логическим символом « \Leftrightarrow » обозначено взаимное соответствие, а выражение $A \Leftrightarrow B$ читается так: «А» влечет за собой «В» и «В» влечет за собой «А».

Строгое соперничество – средняя степень противодействия, при котором наибольшая эффективность функционирования одной стороны достигается при наименьшей эффективности другой: S^2_{-} : $[(\delta E_1/\delta E_2 < 0) \wedge (\delta E_2/\delta E_1 < 0)] \wedge [\max E_1 \Leftrightarrow \min E_2, \max E_2 \Leftrightarrow \min E_1]$. Иными словами, при строгом соперничестве наблюдается такая форма взаимоотношений, в которой цели сторон хотя и противоположны, но неантагонистичны, то есть, несмотря на противоречия или расхождения в позициях, у них имеются точки соприкосновения, где возможны локальные компромиссы.

Нестрогое соперничество – наиболее слабая степень противодействия, при котором, стороны хотя и оказывают отрицательное влияние друг на друга, но, тем не менее, способны на основе компромисса достичь своих целей, хотя, возможно, не в полной мере: S^3_{-} : $[(\delta E_1/\delta E_2 < 0) \wedge (\delta E_2/\delta E_1 < 0)] \wedge [\max E_1 \bar{\Leftrightarrow} \min E_2, \max E_2 \bar{\Leftrightarrow} \min E_1]$, где логическим символом « $\bar{\Leftrightarrow}$ » обозначено взаимное несоответствие, а выражение $A \bar{\Leftrightarrow} B$ означает, что «А» не влечет за собой «В» и «В» не влечет за собой «А».

1.2. СОДЕЙСТВИЕ

Содействием назовем состояние конфликтного процесса, для которого характерно положительное влияние сторон на функционирование друг друга. Формально его можно определить так: S_{++} : $(\delta E_1/\delta E_2 > 0) \wedge (\delta E_2/\delta E_1 > 0)$. В состоянии содействия выделим

единство S^1_{++} , симбиоз S^2_{++} , содружество S^3_{++} и коалицию S^4_{++} , ($S_{++} = \langle S^1_{++}, S^2_{++}, S^3_{++}, S^4_{++} \rangle$), которые можно определить следующим образом [6, 8].

Единство – предельно высокая степень содействия, при котором цели компонентов системы сливаются в одну общую цель, то есть интересы частей полностью совпадают с интересами целого, и наоборот, интересы целого полностью совпадают с интересами частей: S^1_{++} : $[(\delta E_1/\delta E_2 > 0) \wedge (\delta E_2/\delta E_1 > 0)] \wedge [\max E_1 \Leftrightarrow \max E_2] \wedge [\min E_1 \Leftrightarrow \min E_2]$.

Симбиоз – разновидность содействия, соответствующая такому взаимно положительному влиянию компонентов системы, при котором они объединены единством цели, но вклад в ее достижение у каждого из них различен (у одних компонентов он больше, у других – меньше): S^2_{++} : $[(\delta E_1/\delta E_2 > 0) \wedge (\delta E_2/\delta E_1 > 0)] \wedge [\max E_1 \Leftrightarrow \max E_2] \wedge [\min E_1 \Leftrightarrow \min E_2]$.

Содружество – разновидность содействия, при которой цели сторон различны, но эти различия не выходят за рамки определенных границ, то есть каждая сторона преследует свои интересы, но они не противоречат системным интересам: S^3_{++} : $[(\delta E_1/\delta E_2 > 0) \wedge (\delta E_2/\delta E_1 > 0)] \wedge [\max E_1 \Leftrightarrow \max E_2] \wedge [\min E_1 \Leftrightarrow \min E_2]$.

Коалиция – предельно низкая степень содействия, представляющая собой объединение взаимно содействующих компонентов без образования общесистемной цели, допускающее частичную противоречивость целей по второстепенным для всей системы вопросам: S^4_{++} : $[(\delta E_1/\delta E_2 > 0) \wedge (\delta E_2/\delta E_1 > 0)] \wedge [\max E_1 \Leftrightarrow \max E_2] \wedge [\min E_1 \Leftrightarrow \min E_2]$.

1.3. ЭКСПЛУАТАЦИЯ

Эксплуатацией назовем состояние конфликтного процесса, характеризующегося присутствием как противодействия, так и содействия [7]: S_{+-} : $[(\delta E_1/\delta E_2 > 0) \wedge (\delta E_2/\delta E_1 < 0)] \vee [(\delta E_1/\delta E_2 < 0) \wedge (\delta E_2/\delta E_1 > 0)]$. Находясь в этом состоянии, каждая из сторон преследует свои цели, которые противоречивы, но в тоже время ни одна из сторон не может достигнуть своих целей без другой. Несмотря на существующие противоречия, каждая из сторон обладает чем-то необходимым для другой стороны и уступает Это «что-то» в обмен на уменьшение противодействия. Вокруг такого обмена и развивается конфликт. Разнообразие форм эксплуата-

ции чрезвычайно велико, но если отвлечься от их содержательной части, то, следуя принятому формализму, можно выделить следующие состояния эксплуатации [1, 2].

Нормальная (цивилизованная) эксплуатация – возникает тогда, когда, несмотря на существующие противоречия, стороны достигают целей своего функционирования, но одна сторона за счет другой: $S^1_{+,-}$: $\{[(\delta E_1/\delta E_2 > 0) \wedge (\delta E_2/\delta E_1 < 0)] \vee [(\delta E_1/\delta E_2 < 0) \wedge (\delta E_2/\delta E_1 > 0)]\} \wedge [\max E_1 \Leftrightarrow (E_2 = 0)] \wedge [\max E_2 \Leftrightarrow (E_1 = 0)]$.

Антагонистическая эксплуатация, при которой, несмотря на наличие содействующего компонента, стороны не могут совместно достичь своих целей (одна из сторон выигрывает, другая проигрывает): $S^2_{+,-}$: $\{[(\delta E_1/\delta E_2 > 0) \wedge (\delta E_2/\delta E_1 < 0)] \vee [(\delta E_1/\delta E_2 < 0) \wedge (\delta E_2/\delta E_1 > 0)]\} \wedge [\max E_1 \Leftrightarrow (E_2 = 0)] \wedge [\max E_2 \Leftrightarrow (E_1 = 0)]$.

Доброжелательная эксплуатация, когда обе стороны выигрывают в конфликте, но одна больше другой (то есть за счет другой): $S^3_{+,-}$: $\{[(\delta E_1/\delta E_2 > 0) \wedge (\delta E_2/\delta E_1 < 0)] \vee [(\delta E_1/\delta E_2 < 0) \wedge (\delta E_2/\delta E_1 > 0)]\} \wedge [\max E_1 \Leftrightarrow \max E_2] \wedge [\min E_1 \Leftrightarrow \min E_2]$.

Злобная эксплуатация, при которой каждая из сторон предпочитает проиграть в расчете на то, что другая сторона проиграет еще больше: $S^4_{+,-}$: $\{[(\delta E_1/\delta E_2 > 0) \wedge (\delta E_2/\delta E_1 < 0)] \vee [(\delta E_1/\delta E_2 < 0) \wedge (\delta E_2/\delta E_1 > 0)]\} \wedge [\min E_1 \Leftrightarrow \min E_2]$.

1.4. НЕЙТРАЛИТЕТ И ГИБЕЛЬ

Нейтралитетом назовем такое состояние взаимодействия сторон, при котором они не оказывают непосредственного влияния на функционирование друг друга, что формально записывается выражением: $S_{0,0}$: $(\delta E_1/\delta E_2 = 0) \wedge (\delta E_2/\delta E_1 = 0)$. Отметим, что нейтралитет – одно из самых неустойчивых состояний конфликтного процесса. Нейтралитет не означает отсутствия взаимовлияния между сторонами. В этом состоянии нет непосредственного контакта между компонентами системы, но может существовать опосредованное взаимовлияние через третью сторону.

Гибель систем играет существенную роль в процессе их конфликта. Угроза гибели вынуждает конфликтующие стороны изыскивать приемлемые способы совместного существования и развития, являясь мощным стимулом, ограничивающим их агрессивность и стремление к взаимному подавлению. Фантом гибели выступает своеобразной обратной связью отрицательного типа

между будущим и настоящим если не определяющей, то ограничивающей траектории конфликтного процесса. Рассмотрим один из возможных подходов к формализации этого состояния, опирающийся на концепции системной экологии [24]. Для этого введем промежуточные понятия: функциональные факторы; пространство функциональных факторов; функция отклика системы на совокупность функциональных факторов; интервал толерантности и функциональная ниша.

Под функциональными факторами будем понимать такие свойства компонентов системы и характеристики ее внешней среды, которые оказывают непосредственное влияние на развитие компонентов данной системы, а также на характер их взаимодействия друг с другом и с компонентами других систем. Каждому функциональному фактору i можно сопоставить математическую переменную x_i ($i = 1, \dots, n$) на некоторой шкале, а сами факторы могут быть упорядочены (ранжированы) по силе их относительного воздействия на систему.

Пространством функциональных факторов E будем называть евклидово пространство, координаты которого составлены ранжированными факторами $E = \{(x_1, x_2, \dots, x_n)\}$. Таким образом, содержательный смысл пространства функциональных факторов состоит в том, что существует возможность сопоставить каждой комбинации факторов $x_1 = x_1^*, x_2 = x_2^*, \dots, x_n = x_n^*$, соответствующую точку пространства E с координатами $(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$.

Функция отклика системы на совокупность функциональных факторов вводится для количественной характеристики влияния факторов на показатели ее эффективности (пусть они нумеруются индексом $k = 1, \dots, m$). Обозначим через $E^k = [E_n^k, E_v^k]$ отрезок на шкале измерений, ограниченный минимально E_n^k и максимально E_v^k возможными значениями k -го показателя эффективности системы. Тогда функцией отклика k -го показателя на совокупность функциональных факторов (x_1, x_2, \dots, x_n) называется функция φ^k , отображающая функциональное пространство E на шкалу E^k : $\varphi^k : E \rightarrow E^k$, которая каждой точке (x_1, x_2, \dots, x_n) пространства E сопоставляет число на шкале E^k . В типичных случаях функция отклика на изменение фактора x_i представляет собой кривую, монотонно возрастающую от минимального значения E_n^k при $x_i = x_i^{\min}$ до некоторого максимального значения E_v^k при x_i

заметить, что $\tilde{\mu}_{1,2}$ обладает всеми свойствами меры, а именно: 1) если ниши не пересекаются ($\mathcal{R}^1 \cap \mathcal{R}^2 = 0$), то $\tilde{\mu}_{1,2} = 0$; 2) если ниши совпадают ($\mathcal{R}^1 = \mathcal{R}^2$), то $\tilde{\mu}_{1,2} = 1$; 3) в остальных случаях, когда ниши пересекаются частично или же одна целиком содержится в другой, не совпадая с ней, выполняется неравенство $0 < \tilde{\mu}_{1,2} < 1$.

С учетом введенных понятий состояние гибели системы можно формально определить в следующем виде: $S_0 : [(x_1, x_2, \dots, x_n) \notin \mathcal{R}]_{\Delta T \geq T_K}$. Это определение имеет простую интерпретацию – гибель системы наступает тогда, когда она в результате конфликта выходит из своей функциональной ниши на период времени ΔT , превышающий некий порог T_K , определяемый ее адаптационными способностями.

1.5. МОДЕЛЬ МАКРОДИНАМИКИ КОНФЛИКТА

Итак, согласно предложенным аксиоматическим положениям развитие конфликтного процесса на макроскопическом уровне его представления происходит в пяти (${}_5E$) – либо в тринадцатимерном (${}_{13}E$) пространстве состояний, осями которого выступают: гибель (S_0); антагонизм (S^1_{--}); строгое соперничество (S^2_{--}); нестрогое соперничество (S^3_{--}); единство (S^1_{++}); симбиоз (S^2_{++}); содружество (S^3_{++}); коалиция (S^4_{++}); нормальная эксплуатация (S^1_{+-}); антагонистическая эксплуатация (S^2_{+-}); злобная эксплуатация (S^3_{+-}); доброжелательная эксплуатация (S^4_{+-}); нейтралитет (S_{00}). Соответственно задается изображающая точка процесса: для ${}_5E$ – вектором ($S_0, S_{--}, S_{++}, S_{+-}, S_{00}$); для ${}_{13}E$ – вектором ($S_0, S^1_{--}, S^2_{--}, S^3_{--}, S^1_{++}, S^2_{++}, S^3_{++}, S^4_{++}, S^1_{+-}, S^2_{+-}, S^3_{+-}, S^4_{+-}, S_{00}$). Кроме того, для описания процесса функционирования каждого персонального участника конфликта ввели функциональное пространство ${}_nE$, в котором изображающая точка задается вектором (x_1, x_2, \dots, x_n) , где x_i – функциональные факторы, определяющие функционирование субъекта. Композиция этих пространств дает новое пространство, в котором изображающая точка описывается уже не вектором, а произведением метрических тензоров.

По-видимому, возможны и другие способы задания макросостояний конфликтного процесса, но при любом способе суть должна заключаться в следующем. Макросостояние – это область слабой (локальной) устойчивости в пространстве функциональ-

ных факторов, где происходит развитие конфликтного процесса, а смена состояний – это качественный скачок, неустойчивость в динамике процесса, переход из одних областей локальной устойчивости в другие. С учетом введенных состояний макродинамика конфликта в ее формальном представлении описывается схемой рис. 1.2 [5], где кружками обозначены макросостояния конфликта, а линиями – возможные переходы из одного состояния в другое.

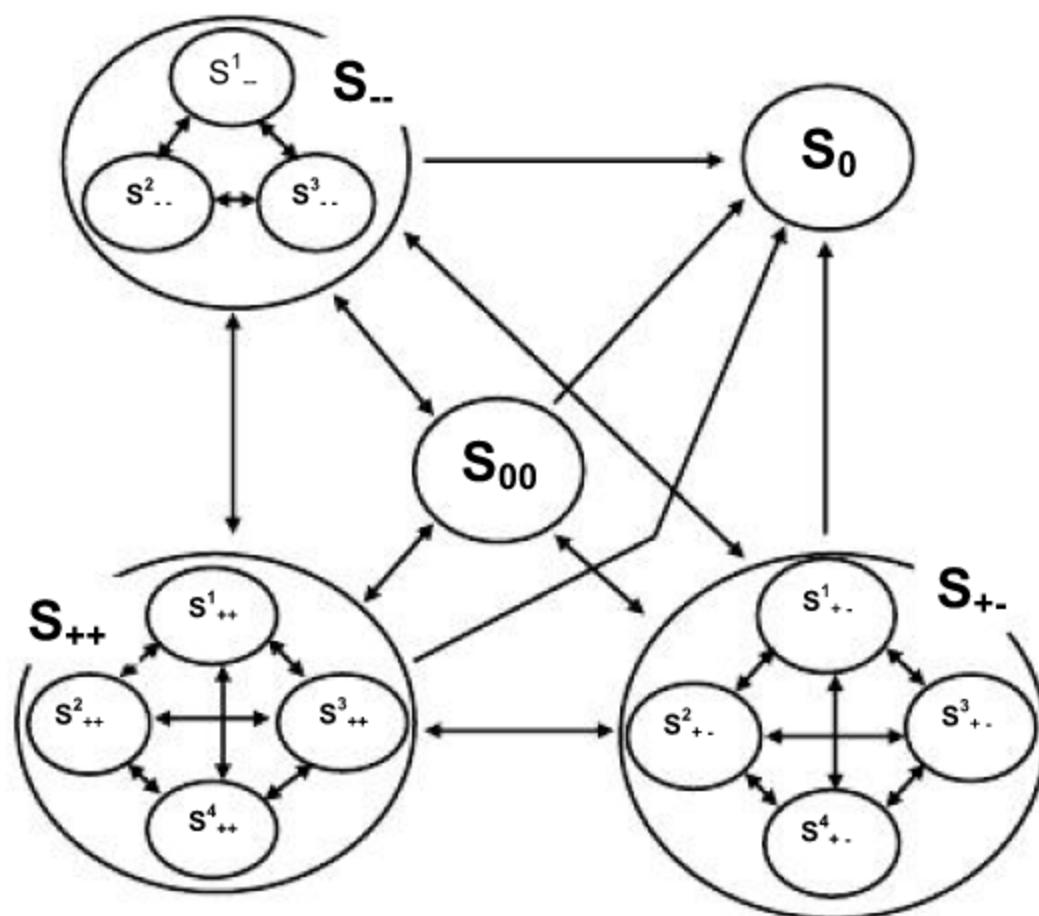


Рис. 1.2. Модель макродинамики конфликта

Отметим важную особенность такого представления макродинамики конфликта. Она заключается в том, что конфликтный процесс находится не в одном из состояний, указанных на схеме рис. 1.2, а во всех сразу, одновременно с различной вероятностью. Эта необычная особенность конфликтного процесса вполне объяснима на понятийном уровне. Так, в самой дружной семье (семья – это не только люди, но и отношения между ними) непременно присутствуют не только элементы содействия и нейтралитета, но противодействия и эксплуатации, почти скрытые в одних условиях и ярко проявляющиеся в других. В организме здорового человека кроются до поры до времени многочислен-

ные болезни (негативные взаимоотношения между компонентами, составляющими организм человека), способные переходить в кризисы при определенных условиях и, в конечном счете, приводящие к его гибели.

Аналогичное представление о динамике взаимодействий изучаемых объектов используется в квантовой механике – так называемый принцип квантовой неразделимости. В соответствии с этим принципом считается, что части целого образования (например, электроны атома вещества) проявляют свои свойства (то есть присутствуют) одновременно во всех точках фазового пространства, но с различной вероятностью. Только постулировав принцип квантовой неразделимости, физикам удалось разработать математические модели, объясняющие экспериментально наблюдаемое поведение микрочастиц.

Учитывая сказанное, динамику конфликта на макроуровне можно представить в виде «пучка», состоящего из тринадцати траекторий (по числу возможных макросостояний), где всякая отдельная траектория на каждом шаге его развития взвешена вероятностью пребывания конфликта в данном состоянии. Причем, для любого шага справедливо условие: сумма этих вероятностей равна единице, что на содержательном уровне можно трактовать как закон сохранения конфликтности. Действительно, в закрытых системах конфликты не исчезают в «никуда» и не возникают из «ниоткуда», они лишь переходят из одной формы в другую, так, что суммарная конфликтность, задаваемая состояниями $S_0, S^1_{--}, S^2_{--}, S^3_{--}, S^1_{++}, S^2_{++}, S^3_{++}, S^4_{++}, S^1_{+-}, S^2_{+-}, S^3_{+-}, S^4_{+-}, S_{00}$, постоянна.

Покажем, что при определенных допущениях, которые будут рассмотрены ниже, макродинамику конфликта можно формализовать в виде марковского процесса, а также предложить метод, позволяющий определить оптимальную стратегию управления конфликтом.

Пусть: $x_i(t + 1)$ – вероятность того, что конфликт находится в состоянии i в момент времени $t + 1$; $x_j(t)$ – вероятность того, что конфликт находится в состоянии j в момент времени t ; m_{ij} – вероятность того, что конфликт, находящийся в момент t в состоянии j , перейдет в момент $t + 1$ в состояние i ; N – общее количество макросостояний, в которых может находиться конфликтный процесс (в нашем случае $N = 13$). Предположим также, что справедливы допущения:

а) $m_{ij} \geq 0$, то есть в конфликте могут присутствовать поглощающие состояния, при попадании в которые процесс прекращается (в нашем случае таким состоянием является S_0);

б) m_{ij} не зависит от t , то есть вероятности переходов конфликта из одного состояния в другое остаются постоянными в течение всего периода его изучения;

в) $x_i(t+1)$ зависит только от $x_j(t)$ и не зависит от $x_i(t-1)$, $x_i(t-2)$, $x_i(t-3)$ и т.д., то есть текущее состояние конфликта полностью определяет его будущее состояние вне зависимости от того, как развивался процесс в прошлом;

г) $\sum_{i=1}^N m_{ij} = 1, j = 1, 2, \dots, N; \sum_{i=1}^N x_i = 1, x_i \geq 0$, то есть имеется определенность относительно состояний, в которых может находиться конфликт и в которые он может переходить;

д) переходы из одного состояния в другое осуществляются в строго определенные моменты времени $t = 0, 1, 2, \dots$, интервалы между которыми детерминированы (напомним, что марковские процессы, в которых это свойство не выполняется, и интервалы оказываются случайными с каким-либо законом распределения, называются полумарковскими).

Тогда макродинамику конфликта формально можно описать в виде системы линейных алгебраических уравнений

$$x_i(t+1) = \sum_{j=1}^N m_{ij} x_j(t), (i = 1, 2, \dots, N), \quad (1.1)$$

где t – дискретные моменты времени ($t = 0, 1, 2, \dots$).

Задав $x_i(0)$, N , m_{ij} и используя выражение (1.1), можно определить значения x_i в любой дискретный момент времени.

Перепишем для простоты (1.1) в матричном виде:

$$x(t+1) = Mx(t), \quad (1.2)$$

$$\text{где } M = \begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} & \dots & m_{1N} \\ m_{21} & m_{22} & \dots & m_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ m_{N1} & m_{N2} & \dots & m_{NN} \end{pmatrix} \text{ – матрица, компоненты кото-}$$

рой удовлетворяют условиям $\sum_{i=1}^N m_{ij} = 1, j = 1, 2, \dots, N, m_{ij} \geq 0$ и характеризуют вероятностным образом возможные направления перехо-

да конфликтного процесса из одних состояний в другие; $x(t) = (x_1, x_2, \dots, x_N)$ – вектор состояний, компоненты которого удовлетворяют условиям $\sum_{i=1}^N x_i = 1, x_i \geq 0$ и характеризуют состояние конфликта в каждый дискретный момент времени.

Для модели (1.2) справедлива важная теорема [10]: если M – положительная марковская матрица, такая, что $m_{ij} > 0$, и $x(t)$ удовлетворяет условию (1.2), то: а) $\lim_{t \rightarrow \infty} x(t) = x^*$, где x^* – вероятностный вектор; б) x^* не зависит от $x(0)$; в) x^* является собственным вектором матрицы M , принадлежащим характеристическому числу 1. Практическая значимость этой теоремы сводится к двум следствиям.

Следствие 1. Если динамика конфликта описывается моделью (1.2) и $m_{ij} > 0$, то он имеет единственную стационарную точку $x_i^* = x_i(t)$ при $t \rightarrow \infty$, координаты которой не зависят от начального состояния (то есть мы имеем дело с конфликтом, который обладает стационарным глобально устойчивым состоянием).

Следствие 2. Для определения координат устойчивой стационарной точки конфликта необходимо определить собственный вектор матрицы M , принадлежащий характеристическому числу 1, то есть задача сводится к решению следующего матричного уравнения: $|M - x^* I| = 0$ относительно x^* ,

$$\text{где } I = \|\delta_{ij}\| = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}; \quad \delta_{ij} = \begin{cases} 1, i = j; \\ 0, i \neq j. \end{cases}$$

Рассмотрим пример использования такой модели для описания макродинамики конфликта типа конкуренции на рынке. Пусть имеется бездефицитный конкурентный рынок, состоящий из N предприятий, которым присвоим номера $1, 2, \dots, N$, и пусть в моменты времени $t = 0, 1, 2, \dots$ каждое из этих предприятий выпускает и реализует на рынке некоторый объем продукции. Введем обозначения. Состояние рынка в момент времени t определяется N величинами $x_i(t) > 0$, характеризующими долю, которую составляет продукция i -го предприятия от общего объема про-

дукции находящейся на рынке в этот момент времени. Например, если $N = 5$ и $x_i(t) = (0.1, 0.4, 0.3, 0.1, 0.1)$, то это значит, что в момент времени t доля продукции первого, четвертого и пятого предприятий составляет по 10 % от общего объема продукции, второго предприятия – 40%, а третьего – 30%. Очевидно, что для любого момента времени $\sum_{i=1}^N x_i(t) = 1$.

Предположим, что рассматриваемый процесс описывается матрицей M с компонентами m_{ij} ($m_{ij} > 0$), характеризующими удельную интенсивность выпуска i -м предприятием j -й продукции $i, j = 1, 2, \dots, N$, $\sum_{i=1}^N m_{ij} = 1$, и матрицей M^* с компонентами m^*_{ij} ($m^*_{ij} > 0$), характеризующими удельную интенсивность потребления j -й продукции, выпускаемой i -м предприятием, $\sum_{i=1}^N m^*_{ij} = 1$.

Для бездефицитного рынка имеем $m_{ij} > m^*_{ij}$. Начальное состояние рынка считаем заданным: $x_i(0) = \delta_{ik}$.

Тогда динамика такого процесса может быть описана выражением

$$x_i(t+1) = \sum_{j=1}^N (m_{ij} - m^*_{ij}) x_j(t), (i = 1, 2, \dots, N), \quad (1.3)$$

совпадающим с (1.1), с той лишь разницей, что $x_i(t) > 0$ и $(m_{ij} - m^*_{ij}) > 0$, то есть указанные векторы оказываются положительно определенными, в отличие от (1.1), где они определены как неотрицательные. Если при этом нас интересует поведение компонентов вектора $x_i(t)$ при $t \rightarrow \infty$, то задача тривиальна и состоит в том, чтобы установить стационарное состояние системы (4.3), воспользовавшись следствием 2 сформулированной теоремы.

При практическом использовании (1.1-1.2) возникают трудности задания переходной матрицы (M). Они связаны с тем, что, во-первых, при достаточно агрегированном представлении моделируемого конфликта не всегда удастся получить опытным путем значения компонентов переходной матрицы, и, во-вторых, они чаще всего не постоянны, а меняются во времени, то есть $m_{ij} = m_{ij}(t)$. Поэтому необходимо использование специальных методов, позволяющих варьировать уровень агрегирования и учитывать зависимость m_{ij} от времени. Одним из таких методов является

«вложение» марковских процессов, идея которого заключается в том, что вероятности m_{ij} рассматриваются как состояния неких процессов более детального уровня агрегирования по сравнению с моделируемым процессом. Далее для простоты будем полагать, что моделируемый процесс включает один подпроцесс нижнего уровня.

Перенумеруем m_{ij} и обозначим полученную последовательность вектором $m_k = (m_1, \dots, m_K)$, $K = N \times N$, так, что $m_{ij} = \aleph(m_k)$, где \aleph – оператор перенумеровки, который каждой комбинации (i, j) ставит в соответствие индекс $k = 1, \dots, K$. Интервалы $[t, t + 1]$ также перенумеруем и обозначим индексом $\tau = 1, 2, \dots$, в соответствии с порядковым номером шага процесса. Моменты дискретного времени внутри каждого шага обозначим $t^\tau = 1, 2, \dots$. Кроме того, введем переходную матрицу $M^{(\tau)} = \|m_{rk}^{(\tau)}\|$, компоненты которой есть вероятности того, что подпроцесс, находящийся в момент t^τ в состоянии k , перейдет в момент $t^\tau + 1$ в состояние r . Потребуем также, чтобы m_k и $M^{(\tau)}$ удовлетворяли допущениям марковости. Тогда можно записать:

$$m_k(t^\tau + 1) = \sum_{r=1}^K m_{rk}^{(\tau)} m_r(t^\tau). \quad (1.4)$$

Если теперь допустить, что в течение времени $[t, t + 1]$ подпроцесс войдет в стационарный режим, то, используя (1.4), можно для каждого τ получить стационарный вектор $m_k^*(\tau)$, окончательно имея

$$x_i(t + 1) = \sum_{\substack{j=1 \\ \tau=1,2,\dots}}^N [m_k^*(\tau)] x_j(t), (i = 1, 2, \dots, N). \quad (1.5)$$

Из (1.5) видно, что переходная матрица процесса не постоянна, а зависит от его шага. Кроме того, она не задается, а вычисляется как функция от переходной матрицы подпроцесса более детального уровня агрегирования. При необходимости, повторяя описанную процедуру, можно перейти к следующему, более детальному уровню агрегирования и получить трехслойную модель, представив тем самым моделируемый процесс в виде иерархической трехуровневой структуры. В свою очередь, можно аналогичным образом перейти от третьего к четвертому уровню, от четвертого к пятому и т.д., вплоть до уровня, на котором су-

существует практическая возможность установить значения компонентов переходной матрицы опытным путем, например, методом проведения экспериментов.

Рассмотрим конфликтный процесс, который в каждый дискретный момент времени $t = 0, 1, 2, \dots$ находится в одном из состояний S_1, S_2, \dots, S_N . Пусть, как и ранее, $x_i(t)$ – вероятность того, что конфликт находится в состоянии S_i в момент времени t . Поскольку t принимает только дискретные значения, заменим индекс t на n ($n = 1, 2, \dots$), который назовем шагом процесса, и будем рассматривать $x(n)$ вместо $x(t)$. Введем в рассмотрение векторную переменную $q^n \in Q$, такую, что марковская матрица M есть $M(q^n) = \|m_{ij}(q^n)\|$. Другими словами, мы вводим в обычную марковскую модель управляющий векторный параметр $q^n \in Q$, варьирование которым позволяет на каждом шаге изменять значения компонентов m_{ij} переходной матрицы и тем самым влиять на ход и конечный результат развития процесса. Назовем Q областью допустимых управлений и потребуем, чтобы она была конечной и замкнутой. В частности, область Q может быть кубом Z -мерного пространства переменных $q_1^n, q_2^n, \dots, q_Z^n$: $|q_z^n| \leq 1, z = 1, 2, \dots, Z$ или каким-либо другим замкнутым ограниченным множеством этого Z -мерного пространства. Помимо ограничения $q^n \in Q$, устанавливающего область возможных значений вектора q^n (область допустимых управлений), на его компоненты могут накладываться ограничения вида $\mathfrak{I}(q^n) = 0$. Смысл введения этих ограничений заключается в необходимости учета связей между компонентами вектора q^n , которые в реальных условиях выражаются в том, что управляющие параметры влияют друг на друга, а потому не могут выбираться произвольно. С учетом отмеченного вместо обычных соотношений (1.1) получаем

$$x_i(n+1) = \sum_{j=1}^N m_{ij}(q^n) x_j(n), \quad (1.6)$$

которые назовем управляемой марковской моделью конфликта.

В отличие от (1.1), эта модель позволяет имитировать динамику конфликта под действием целенаправленных внешних воздействий (управлений) q^n , а также ставить и решать задачу выбора оптимального управления. Рассмотрим, как, пользуясь моделью (1.6), можно сформулировать и решить задачу оптимального

управления конфликтным процессом, параметры которого удовлетворяют условиям марковости. Очевидно, что для этого необходимо связать каждое из возможных управлений $q^n \in Q$ с некоторым показателем $D^n(q^n)$, $i = 1, 2, \dots$, характеризующим эффективность того или иного управления на каждом шаге рассматриваемого процесса, то есть задать, например, матрицу доходов D^n , отражающую полезность каждого управления на каждом шаге. Или, что тоже, – взвесить каждое состояние полезностью, выраженной, в частности, доходом d_j^n , который приобретается системой при ее пребывании в том или ином состоянии. Поскольку каждое состояние задано вероятностно, то и общий доход за n шагов является случайной величиной, зависящей от начального состояния и управлений, вырабатываемых в ходе процесса, а качество управления может быть оценено величиной среднего суммарного дохода за n шагов.

Стратегией управления Q будем называть упорядоченную во времени последовательность управлений $Q = (q^1, q^2, \dots, q^n)$, где $q^i = \langle q_1^i, q_2^i, \dots, q_Z^i \rangle$ – вектор управлений. Задание стратегии означает полное описание управлений, реализуемых на всех шагах процесса в зависимости от состояния, в котором он находится в текущий момент времени. Если компоненты вектора Q не зависят от шага процесса, то такая стратегия называется стационарной. Стратегия Q называется марковской, если выбор управлений зависит только от текущего состояния процесса и не зависит от предшествующих состояний и управлений.

Поиск оптимальной марковской стратегии основан на применении принципа оптимальности Беллмана и заключается в последовательной оптимизации дохода на каждом шаге процесса с использованием рекуррентного уравнения следующего вида:

$$\max_q D^{n+1}(q) = \max_i \left[\sum_{j=1}^N m_{ij}(q^n) d_j^n x_j(n) + \sum_{i=1}^n D^n \right], \quad (1.7)$$

где $\sum_{i=1}^n D^n$ – суммарный доход за n предыдущих шагов, полученный при условии, что на каждом из них применялось оптимальное управление.

Таким образом, рассмотренный подход к управлению динамикой конфликта на макроуровне его представления, по существу, реализует известный метод стохастического динамического программирования. Он вполне адекватен существу конфликтного процесса в том случае, если удовлетворяет сформулированным выше допущениям марковости. Корректное использование аппарата марковских процессов предполагает эргодичность процесса движения системы – наличия вполне определенной точки или области устойчивости (равновесия), в которую она стремится попасть в процессе функционирования. При нарушении эргодичности, что характерно, например, для кризисных явлений, уравнения, описывающие марковский процесс, не имеют стационарных решений. Тем не менее, этот аппарат может служить конструктивным инструментом анализа конфликтов, поскольку в марковском случае легче понять, какая информация о ходе процесса существенна для выработки подходящего управления.

ГЛАВА 2. МЕЗОДИНАМИКА

Мезодинамическая модель позволяет вскрыть содержание тех конфликтных процессов, которые соответствуют линиям схемы рис. 1.2. Таким образом, формально, мезодинамика конфликта – это его развитие между макросостояниями.

Будем исходить из того, что в общем случае развитие конфликта проходит определенные стадии: конфликтную ситуацию ($C_{КС}$), латентную стадию ($C_{ЛС}$), кризис ($C_{КР}$) и катастрофу ($C_{КТ}$), которые будем рассматривать в качестве мезосостояний конфликтов. По определению начальными состояниями конфликта на мезоуровне являются противодействие, эксплуатация, содействие и нейтралитет. Эти же состояния + «гибель» выступают конечными состояниями.

2.1. КОНФЛИКТНАЯ СИТУАЦИЯ

Это начальная стадия развития конфликтного процесса, содержательная сторона которой заключается в формировании условий, необходимых для перерастания противоположных свойств взаимодействующих систем в противоречия между ними. Такие условия принято называть источниками конфликта. В конкретных

проявлениях они бесконечно многообразны, но если вникнуть в их существо, то выяснится, что фундаментальным источником любого конфликта служит дефицит ресурсов, необходимых системам для существования и функционирования. Речь идет об энергетических, вещественных, информационных, финансовых, морально-волевых, административных и других ресурсах, которые должны быть не вообще, а в нужном месте, в определенное время, требуемого качества и в необходимом количестве, что обеспечивается коммуникациями. Поэтому правильнее говорить не о ресурсном, а о ресурсно-коммуникационном дефиците.

В том случае, когда системы начинают испытывать такой дефицит, у них появляется стимул к поиску недостающего ресурса и совершенствованию своих коммуникаций. В физических системах начинают формироваться процессы, направленные на отбор энергии и вещества из среды. В биологических системах возникают позывы к агрессии и борьбе за овладение пищей, территорией, теплом, а в социальных системах порождаются мотивы к переворотам, революциям, захватническим войнам, овладению чужой собственностью. Например, в юридической сфере конфликтная ситуация соответствует возникновению условий, инициирующих правонарушения. Примером таких условий служит отечественное налоговое законодательство, вынуждающее предпринимателя сознательно становиться на путь правонарушений.

Итак, возникновение условий, ведущих к образованию ресурсно-коммуникационного дефицита, побуждает систему сдвинуться со своего устойчивого состояния. Тем самым фиксируется образование конфликтной ситуации. Далее конфликтный процесс может развиваться по следующим направлениям:

1) $C_{КС} \rightarrow (C_{ЛС} \text{ или } C_{КР} \text{ или } C_{КТ})$, то есть конфликт может двигаться дальше по нарастающей, к одной из следующих стадий: $C_{ЛС}$, $C_{КР}$ или $C_{КТ}$, что означает эскалацию (дальнейшее развитие) противоречий при $C_{КС} \rightarrow C_{ЛС}$, стремительное (лавинообразное) нарастание кризисных явлений при $C_{КС} \rightarrow C_{КР}$, либо движение к катастрофе при $C_{КС} \rightarrow C_{КТ}$;

2) $C_{КС} \rightarrow (S_{-} \text{ или } S_{++} \text{ или } S_{+} \text{ или } S_{00})$, то есть конфликт может перейти в одно из локально устойчивых макросостояний, что означает – данный конфликт исчерпан, плохо или хорошо, но конфликтующие стороны сумели преодолеть противоположные уст-

ремления, нашли несиловые способы восполнения недостающего ресурса или умерили свои потребности;

3) $C_{КС} \rightarrow S_0$, то есть, конфликт, минуя все стадии своего естественного развития, сразу же завершиться гибелью одной, нескольких или всех систем, участвующих в конфликте.

2.2. ЛАТЕНТНАЯ СТАДИЯ

Это начальный шаг на пути возникновения активного противостояния, состоящий в переходе противоположностей сторон в реальные противоречия между ними. На этой стадии происходит интегро-дифференциация системы, то есть расчленение ее на отдельные центры и концентрация вокруг них компонентов с ярко выраженными противоположными свойствами. Применительно к социальным конфликтам это означает разделение людей на стороны, имеющие различия в точках зрения и интересах, с одновременным их объединением в политические движения, партии, экономические, финансовые и другие группировки, преследующие противоположные или несовпадающие цели. В юридической сфере латентная стадия – это подготовка к правонарушению или преступлению. В биосистемах на этой стадии конфликта происходит распад прежде единого биоценоза и образование сообществ с противоположно направленными биотическими отношениями. В неживой природе под действием физических законов сохранения вещества и энергии, возрастания энтропии и других начинается формирование локальных областей с несовпадающими векторами сил.

Таким образом, содержательный аспект латентной стадии конфликта состоит в том, что происходит формирование конфронтационных позиций сторон под действием сохраняющегося дефицита ресурсов, но открытые внешние действия еще не имеют места. Отсутствие очевидных проявлений конфликта послужило основанием для наименования этой стадии. Далее конфликтный процесс может развиваться по следующим трем направлениям:

1) $C_{ЛС} \rightarrow (C_{КР} \text{ или } C_{КТ})$, то есть двигаться по нарастающей, перейдя в стадию кризиса либо катастрофы, что означает переход от конфронтации к реальным противоборствам при $C_{ЛС} \rightarrow C_{КР}$, или нарастание катастрофических явлений при $C_{ЛС} \rightarrow C_{КТ}$;

2) $C_{\text{ЛС}} \rightarrow (S_{-} \text{ или } S_{++} \text{ или } S_{+-} \text{ или } S_{00})$, то есть перейти в одно из локально устойчивых макросостояний, что означает – данный конфликт не доведен до кризиса или катастрофы, в частности потому, что конфликтующие стороны сумели придти к некоему компромиссу на основе преодоления взаимоисключающих интересов, поиска несиловых способов восполнения недостающего ресурса или сокращения своих личных потребностей;

3) $C_{\text{ЛС}} \rightarrow S_0$, то есть завершиться гибелью одной, нескольких или всех систем, участвующих в конфликте.

Как и в конфликтной ситуации, выбор пути в латентной стадии определяется самими участниками конфликта. Отличие данного этапа состоит в том, что часть и без того малого ресурса может быть затрачена не на развитие системы, а на формирование в ней конфронтационных образований. Это не разрешает, а только обостряет ситуацию, поскольку приближает систему к ресурсной катастрофе. Вместе с тем природа конфликта такова, что этот этап дает возможность противостоящим сторонам в последний раз «задуматься» над тем, каким путем изыскивать недостающие ресурсы: экспансией и агрессией или сотрудничеством и взаимопомощью. На первый взгляд кажется, что решение очевидно. Однако на самом деле это далеко не так, поскольку выбор пути значительно осложняется следующими обстоятельствами.

В любой системе ресурсы разнородны, взаимосвязаны и имеют ситуативные ранги важности по отношению к обеспечению ее жизнедеятельности. Кроме того, значительная часть ресурсов скрыта не только от стороннего наблюдателя, но и от самой системы. В социальных системах ресурсы скрываются сознательно, поскольку таким способом элементам удастся повысить свою самостоятельность и обеспечить большую свободу действий. Более того, отдельные ресурсы находятся во взаимном противоречии, в частности такие, как духовные и финансовые, интеллектуальные и материальные, поскольку сами способны перейти в конфликт. Поэтому исключить ресурсный дефицит простым добавлением недостающего или разделением спорного ресурса принципиально невозможно (разве только в лабораторных условиях).

Находясь в латентной стадии конфликта, стороны определяют свои намерения и формируют свое представление о намерениях «соседа». При этом они опираются на предысторию своих

взаимоотношений и текущую информацию о взаимных намерениях. Эта информация, как правило, ограничена. В силу этого взаимные намерения сторон могут быть восприняты ими с определенными искажениями. Эти искажения сводятся к ошибкам двух родов:

1. «Пропуск цели» – одна из сторон намеревается решать свои вопросы путем агрессии, а другая сторона на основе имеющихся у нее данных оценивает эти намерения как неагрессивные.

2. «Ложное срабатывание» – одна из сторон намерена решать свои вопросы мирным путем, а другая – оценивает эти намерения как агрессивные.

Такие ошибки и их комбинации могут привести к различным и зачастую непредсказуемым последствиям. В частности, сторона, допустившая ошибку первого рода, может оказаться не готовой к противоборству. Следствием ошибок второго рода могут быть ситуации, в которых одна из сторон, не имея на то объективных причин, начинает разворачивать приготовления к противоборству. А если информация об этих приготовлениях становится известна другой стороне, то и она вынуждена предпринимать адекватные ответные меры. Важно отметить, что конфликтные ситуации, возникшие вследствие ошибок второго рода, могут перерасти в противоборство при условии, если в системе доминирует так называемая «агрессивная концепция среды». Такое положение характерно, например, для криминальных и бытовых конфликтов, в которых неадекватность оценки ситуации, как правило, определяется личностными факторами: ограниченностью кругозора, стрессом, узостью предвидения последствий, состоянием алкогольного или наркотического опьянения и др. В социальных конфликтах латентная стадия приобретает особую значимость, поскольку в этот период еще существует реальная возможность предупредить перерастание конфронтации в кризис.

2.3. КРИЗИС

Греческое слово «*krísis*» означает «решение» [11]. Первоначально оно применялось к судебной тяжбе двух сторон, а затем к процессу обсуждения вообще; далее – к борьбе мотивов в человеческой психике; наконец, ко всякому состязанию сил противоположных или конкурирующих. При этом под кризисом подразуме-

вается завершение или перелом в ходе некоторого процесса, имеющего характер борьбы. До «кризиса» борьба идет, положение является неопределенным, колеблющимся; момент кризиса есть конец неопределенностям и колебаниям – начинается нечто новое, организационно иное, чем прежде.

В дальнейшем понятие кризиса расширилось и стало применяться ко всякому резкому переходу, ко всем переменам, воспринимаемым людьми как нарушение непрерывности. Так, принято говорить о «кризисе болезни», когда наблюдаемые симптомы резко меняются, или таких «кризисах развития организма» как половая зрелость, когда в жизни организма выступают новые функции. Общественные науки обозначают тем же словом не только моменты переворотов или глубоких реформ, но также вообще периоды острых социальных болезней: кризисы перепроизводства, обострения классовой борьбы и т. п. В науках о неорганической природе под это понятие подводятся такие перемены в строении тел, как плавление, замерзание, кипение. Например, температура кипения есть та, при которой жидкость неизбежно, независимо от других условий обращается в газ. В физике и химии есть целый ряд подобных «критических величин», то есть, величин, с которыми связана неустранимость кризиса. В социальных и экономических системах кризисы проявляются в форме революций, мятежей, путчей, банкротств предприятий и фирм, дефолтов, забастовок, голодовок и других явлениях, где в той или иной форме присутствует противоборство социальных и экономических сил.

В обыденном понимании кризисы ассоциируются с катастрофами, авариями, банкротствами, стрессами и другими катаклическими явлениями, несущими в себе потенциал разрушения. Человек боится кризисов и старается их избежать, инстинктивно предчувствуя таящуюся в них угрозу для своего существования и благополучия. Но, вместе с тем, несмотря на все усилия, кризисы постоянно сопровождают нас в течение всей жизни. С системной точки зрения жизнь любого организма представляется как один целостный ряд кризисов, начиная с кризиса рождения и заканчивая кризисом смерти. Человек, так же как и любая другая система, живет только потому, что в процессе эволюции научился преодолевать большую часть внутренних и внешних кризисов

без катастроф, поскольку выработал соответствующие механизмы и закрепил их наследственно.

Таким образом, кризисы представляют собой опасные, но, в тоже время, жизненно необходимые процессы для любой системы. Как показывает история, кризисы – это атрибут любой социальной и экономической системы, вне зависимости от ее устройства и желания людей. Их жизненная необходимость диктуется процессом самоорганизации, а следовательно, и эволюцией систем [20, 22].

Если исключить из рассмотрения эмоциональную составляющую, и поставить в основу угла прагматический подход к анализу социально-экономических кризисов как объективных явлений, то можно утверждать: кризисы формируют в социальных и экономических системах условия, необходимые для того, чтобы в них реализовывался процесс самоорганизации, а именно: открытость, неустойчивость и нелинейность развития. Действительно, для возникновения и развития самоорганизации необходимо, чтобы система обладала способностью обмениваться веществом, энергией и информацией с окружающей средой [22]. В противном случае ее движение предопределено вторым началом термодинамики – в конечном счете, она попадет в состояние, характеризующееся максимальным беспорядком или дезорганизацией. Анализируя феномен социально-экономических кризисов, нетрудно убедиться в том, что именно они являются тем механизмом, который регулирует степень открытости социальных и экономических систем. Содержание таких механизмов заключено в том, что кризисы предполагают борьбу двойственного характера. С одной стороны, борьба ведется за обладание ресурсами, необходимыми этим системам для существования и развития, и, следовательно, кризисы выступают в качестве силового способа ликвидации ресурсного дефицита путем его заимствования у окружающих систем. С другой – борьба ведется за сохранение имеющихся ресурсов, и потому, кризисы можно рассматривать как способ защиты от различного рода посягательств со стороны других систем. Двойственный характер кризисных процессов приводит или к вскрытию системы, или к ее самоизоляции. Поэтому можно утверждать, что кризисы выступают своеобразным регулятором, открывающим и закрывающим путь к взаимодействию социально-экономических систем с внешним миром.

Для того чтобы в открытой социальной или экономической системе происходила самоорганизация, она (система) должна постоянно находиться в неустойчивом состоянии и одновременно иметь возможность переходить из одних областей неустойчивости в другие неустойчивые области, то есть траектория ее развития должна носить нелинейный – ветвящийся характер. Иначе система приобретает свойство эргодичности и со временем переходит в какое-либо устойчивое глобальное состояние (процесс самоорганизации прекращается). Препятствуют возникновению эргодичности кризисы, которые, ликвидируют область глобальной устойчивости системы, трансформируя ее во множество локальных областей слабой устойчивости, в которых (если система не погибла) берут начала новые направления ее развития. Иными словами, кризисы, разрушая старое, дают толчок новому: прогрессивному или регрессивному, конструктивному или деструктивному.

Последние категории собственно к кризисам не относятся. Функции кризисов зачастую смешивают с оценками их результатов по шкале «позитив – негатив». Такие оценки всегда субъективны. Они зависят от того, в какой период времени оценивается тот или иной кризис, и могут быть даже противоположными. Это порождает различного рода теоретические спекуляции вокруг того или иного социально-экономического кризиса, когда он в зависимости от текущих интересов объявляется то вредным – то полезным, то конструктивным – то деструктивным, то прогрессивным – то регрессивным. На самом деле кризисы как объективные явления не несут в себе ни одной из перечисленных функций, предоставляя людям возможность их реализации.

Следует отметить, что любой кризисный процесс является составной, но не всегда обязательной частью более общего процесса – конфликта: не бывает социально-экономических кризисов вне социально-экономических конфликтов, а вот такие конфликты могут проистекать и без кризисов. Кризису предшествует определенная предыстория (конфликтная ситуация и латентная стадия) и на них (кризисах) конфликт еще не завершается.

Такое понимание места кризисов в общей структуре социально-экономических конфликтов позволяет заключить, что в методическом аспекте кризис всегда надлежит рассматривать как подсистему некоторой конфликтующей системы. Это позволяет

использовать результаты конфликтологических исследований (с соответствующей интерпретацией) для решения задач разработки моделей социально-экономических кризисов и обоснования технологий их урегулирования.

С кризисами тесно связано понятие эволюции (от лат. *evolutio* — развертывание), которое употребляется в разных смыслах. Большей частью с эволюцией отождествляется движение, развитие систем от простого к сложному. В других случаях эволюция рассматривается как процесс длительных, постепенных изменений, которые в конечном итоге приводят к коренным качественным трансформациям, завершающимся возникновением новых систем, структур, форм и видов. В настоящее время нет общей теории эволюции, объясняющей исчерпывающим образом все то исключительное многообразие явлений, которое связано с эволюционными процессами в обществе. Поэтому мы ограничимся представлением эволюции как концептуальной категории, с целью установить роль кризисов в формировании эволюционного процесса. Эволюция как концепция постулирует доминирование развития и совершенствования над застоем, стагнацией и движением в сторону хаоса, беспорядка и дезорганизации. Антиномией эволюции выступает концепция инволюции (от лат. *involutio* — обратное развитие). Обе противоположности имеют под собой убедительные научные обоснования и подкреплены многочисленными историческими фактами. Противоречивость этих концепций удастся совместить, если исходить из того, что регулятором противоположно направленных социально-экономических тенденций выступают кризисы. При этом регулирующая функция кризисов проявляется в том, что они открывают или закрывают социально-экономические системы. Для закрытых систем, вне зависимости от их субстанциональной сущности, характерно инволюционное развитие, а для открытых — эволюционное развитие. В то же время как инволюционный, так и эволюционный процессы сопровождаются кризисами, изменяющими характер взаимодействия системы со средой. В результате может произойти инверсия развития, то есть в системе возникнет состояние, когда эволюция сменяется инволюцией или, наоборот, инволюционное развитие переходит в эволюционное. Наглядный пример регулирующей функции социально-экономических кризисов демонстрируют революции — типичные кризисы в развитии социальных и экономических отно-

шений. Независимо от их целей и конечных результатов, революции выступают переломным моментом в развитии общества, после которого оно либо закрывается (как, например, произошло после победы большевизма в нашей стране), либо открывается, как, например, случилось после победы французской буржуазной революции в конце XVIII века.

Итак, в развитии социальных и экономических систем наблюдаются циклы эволюции-инволюции, а моменты инверсии определяются кризисами, которые непосредственно и регулируют процесс их развития. На рис. 1.3 приведено графическое изображение жизненного цикла условной социально-экономической системы и показана роль кризисов в этом процессе.

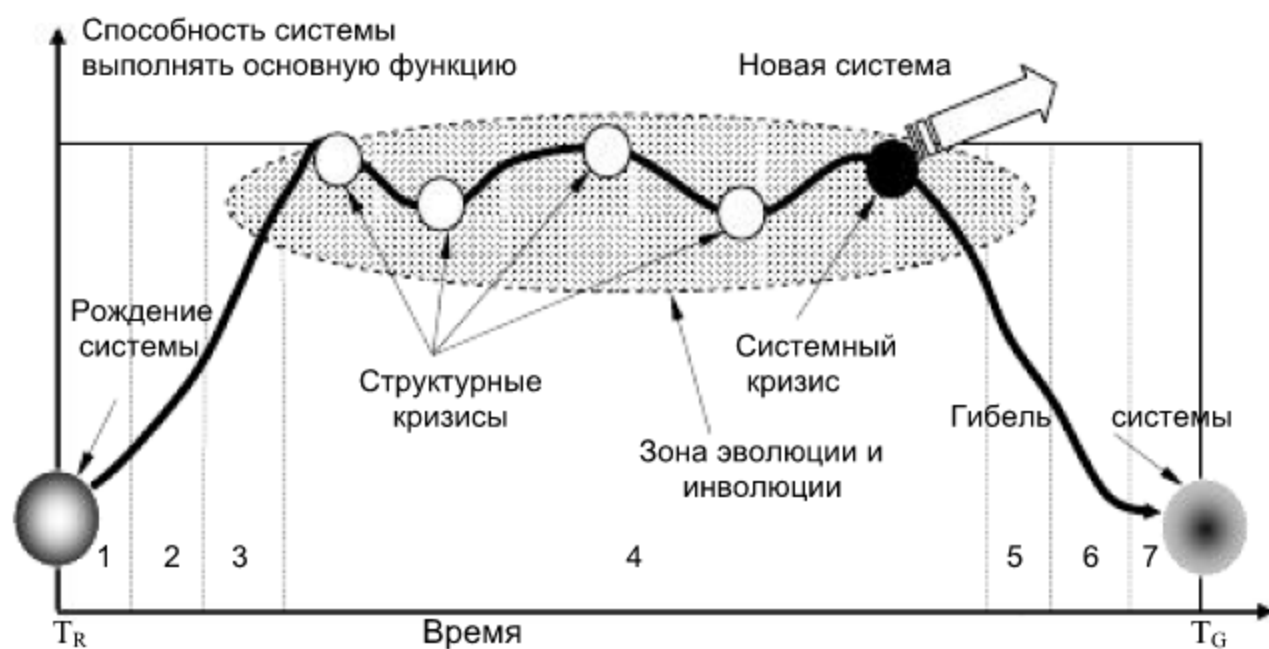


Рис. 1.3. Графическое изображение жизненного цикла системы с указанием роли, которую играют кризисы в этом процессе

На этом графике, ограниченном по оси абсцисс моментом рождения системы T_R и моментом ее гибели T_G , выделены определенные стадии: зарождение (1), становление (2), развитие (3), расцвет (4), регресс (5), упадок (6) и естественная гибель (7) [20]. Основанием для выделения стадий служит текущая эффективность системы — ее способность выполнять свою основную функцию или отвечать своему предназначению. Стадии 1 и 2 соответствуют периоду эволюции, стадии 5, 6 и 7 — периоду инволюции, а стадия 4 — это зона, где периоды инволюции сменяются периодами эво-

люции, и наоборот: эволюционный характер развития переходит в инволюционный.

Естественным параметром жизненного цикла служит среднее время жизни системы, то есть интервал времени $\Delta T_S = T_G - T_R$. Среднее время жизни не физическая, а средне статистическая характеристика системы. Она исчисляется на множестве систем определенного класса путем регистрации и усреднения естественной продолжительности жизни каждой из них. Знание этой характеристики не позволяет рассчитать продолжительность жизни отдельно взятой (персональной) системы. Поэтому она не может служить основанием для каких-либо серьезных прогнозов относительно ее будущего. Дело не в разбросе (дисперсии) величины ΔT_S , а в статистическом способе ее получения, не позволяющем связать персональное время жизни данной системы с процессами, влияющими на продолжительность ее жизни.

Исходя из системного понимания сущности кризисных процессов, можно выделить следующие типы социально-экономических кризисов (рис. 1.4) [14, 16]: глобальные и локальные; системные и структурные; разрушающие, реставрирующие и трансформирующие; соединительные и разделительные, наступательные и оборонительные; эскалации и деэскалации: многосторонние и двухсторонние типа дуэли; объективные, субъективные и форс-мажорные, организационные и параметрические.

Глобальные кризисы охватывают всю систему целиком, а локальные – какую-либо ее подсистему или несколько подсистем. Такое разделение кризисов всегда относительно. Например, происходящий в настоящее время в США кризис ипотечного кредитования является глобальным по отношению к данному государству, и локальным по отношению к мировой экономической системе. Как будут развиваться события, покажет время.

Системными называются кризисы, затрагивающие все стороны жизни социально-экономической системы, в которой они происходят. Они свидетельствуют о коренных качественных изменениях, происходящих в системе. Примером такого кризиса может служить социально-экономический кризис, произошедший в нашей стране в конце прошлого века.

Структурные кризисы характерны тем, что они ведут лишь к организационной перестройке социальной или политической системы, не затрагивая при этом основ ее построения. Они не приво-

дят к коренным качественным изменениям системы, а лишь пере-
страивают ее внутреннюю структуру так, чтобы ее сущностная
основа оставалась такой же, как и была до кризиса. Пример – пе-
рестроечные кризисы в развитии нашего государства в период
правления Михаила Горбачева.



Рис. 1.4. Типы социально-экономических кризисов

Правильная
оценка происходящих
кризисов часто играет
решающую роль при
прогнозировании ди-
намики социальных и
экономических сис-
тем. Так, в начале XX
столетия теоретики
марксизма допустили
ошибку, приняв за
системный очередной
структурный кризис в
странах Запада. На
этом основании был
сделан необоснован-
ный вывод о неиз-
бежности гибели сис-
темы капитализма и
еще более сомнитель-
ный вывод о всемир-
ной победе социали-
стической системы.
Дальнейший ход со-
бытий известен.

Соединительными или «кризисами С» (по Богданову [11]) на-
зываются кризисы, ведущие к формированию новых связей меж-
ду взаимодействующими системами. *Разъединительные кризисы*
(«кризисы D»), наоборот, разрушают такие связи. Как отмечает
Богданов, различать эти два типа отвлеченно очень легко, но ко-
гда мы начинаем изучать явления конкретно, как они выступают
в опыте, оказывается, что дело несравненно сложнее именно по-
тому, что простых кризисов не бывает: каждый кризис в действи-
тельности представляет цепь элементарных кризисов того и дру-

гого типа. Для иллюстрации сказанного он приводит такой пример. Рождение ребенка представляет прежде всего отрыв его от тела матери – это кризис D. Затем в его организм поступает целый ряд новых компонентов через органы дыхания, движения и внешних чувств: происходит множественный кризис C. Наконец, устанавливается новое относительное равновесие со средой на основе определившихся границ – опять кризис D. Характеристика кризиса, следовательно: $D \rightarrow C \rightarrow C \rightarrow D$. Если нас не интересует или не выяснены условия, вызвавшие акт рождения, то двух букв D достаточно, чтобы выразить ряд процессов распада. Если же они входят в расчет, например, когда роды произошли преждевременно вследствие механического воздействия или нервного потрясения, – то резюмирующее обозначение будет: $C \rightarrow D \rightarrow C \rightarrow C \rightarrow D$. С такой же формальной стороны кризис смерти – это разрыв некоторых необходимых для жизни связей; затем наряду с дальнейшим разрывом других связей организма также происходит нарушение границ между его специализированными тканями, а вместе с тем и общих границ между ним и средой, из которой внедряются в него разрушительные агенты, мертвые и живые; наконец, распадение на устойчивые физические и химические сочетания: $D \rightarrow C \rightarrow D$.

Наступательные и оборонительные кризисы. В социально-экономических кризисах действия сторон по своему характеру бывают наступательными и оборонительными. Наступательные действия состоят в нападении на противника, повреждении его собственности, захвате спорного объекта, изоляции, изгнании, пленении противника и иных актах, которые направлены на прямое ущемление интересов противостоящей стороны. Оборонительные действия заключаются в удержании спорного объекта, самозащите, защите от уничтожения или повреждения материальных ценностей и т.п. Главное различие между ними в том, что оборона – это попытка удержания имеющегося на данный момент соотношения позиций, сохранения тех своих интересов, которые до сих пор реализовались беспрепятственно, тогда, как наступление меняет соотношение позиций и направлено на утверждение нереализованных интересов. Различие между этими действиями в достаточной мере условно, поскольку в реальных кризисах они тесно переплетаются между собой и легко переходят из одного в другое. Кроме того, наступление всегда подразумевает

сохранение и защиту уже достигнутых позиций. Недаром говорят, что «наступление – лучший вид обороны».

Кризисы эскалации и деэскалации. Эскалация в буквальном смысле означает расширение, наращивание и обострение социально-экономических кризисов. В нашей печати этот термин получил распространение с 60-х годов прошлого века, когда США стали расширять свои агрессивные действия в Индокитае. К основным признакам, свидетельствующим об эскалации кризисов, относятся [13]: интенсификация взаимодействий, при которой каждое последующее воздействие сторон друг на друга выше по интенсивности, чем предыдущее; расширение сторонами используемых способов и методов воздействий (переход от отдельных воздействий к операциям, перерастание демонстраций в мятежи и т.п.); «генерализация» кризиса, то есть переход к более глубоким противоречиям по сравнению с теми, которые имели место в начале противоборства (вовлечение в него новых участников, возрастание объемов потребляемых ресурсов и т.п.). Для кризисов эскалации характерным является развертывание событий по своеобразной спирали: действия одной стороны вызывают контрдействие другой, и это последнее действие отнюдь не адекватно по своим последствиям предыдущему. Из эскалации кризисы могут перейти в деэскалацию (затухание), когда указанные признаки сохраняются, но как бы меняют свой знак на противоположный: снижается интенсивность действий, сокращается набор используемых способов борьбы, сужается территория конфликта, уменьшается число участников. Затухание кризисов не всегда свидетельствует об их завершении. После некоторого временного затишья кризис может разразиться с новой силой, и таких циклов может быть несколько.

Разрушающие кризисы приводят к гибели одной, нескольких или всех сторон, участвующих в противоборстве. Прямо противоположными являются *реставрирующие кризисы*, которые направлены на восстановление статус-кво, возвращение системы в исходное состояние. Примером реставрирующего кризиса может служить неудавшийся путч 1992 года, связанный с попытками восстановления в нашей стране коммунистического режима.

Трансформирующие кризисы связаны с борьбой за переход системы в некоторое новое, более предпочтительное состояние. К ним относятся разного рода перестройки, реформы и инновации,

выгодные одним, невыгодные вторым и непонятные для третьих. Примером трансформирующего кризиса является ведущаяся в нашей стране с 2000 года вялотекущая реформа жилищно-коммунального хозяйства.

Для *двухсторонних кризисов типа дуэли* характерным является несовместимость целей двух сторон. Такой кризис завершается для каждой стороны тремя исходами: победой, поражением или ничьей. Наглядным примером двухстороннего кризиса типа дуэли может служить шахматная партия. Другой пример – борьба двух претендентов за место в государственную или региональную Думу, когда победу на выборах может одержать только один кандидат, либо оба будут отвергнуты избирателями. В *многосторонних кризисах* количество их участников не ограничивается, так же как и не ограничивается количество исходов. Примером такого кризиса являются специально организованные конкурсы на выполнение каких-либо работ (например, строительно-монтажных). Чем больше фирм и организаций участвует в таких конкурсах, тем больший выигрыш получают его организаторы. А вот для самих участников исход конкурса может быть самым различным: заказ получен, заказ не получен, заказ поделен между претендентами, все претенденты получили отказ и т.д.

По факторам, обуславливающим их возникновение развитие, кризисы подразделяются на *объективные, субъективные и форс-мажорные*. В качестве наиболее важных из них можно указать следующие [14]:

- отсутствие научно обоснованных и скоординированных программ экономического, производственного и духовного развития, разумно сочетающих централизованные и децентрализованные формы управления и отвечающих не идеологическим канонам или сиюминутным политическим устремлениям лидеров, но потребностям индивида и общества;

- неполнота и искаженный характер информации о состоянии управляемых производственно-экономических процессов общегосударственного, межотраслевого, внутриотраслевого и территориального уровня и неадекватность решений по управлению ими реальному состоянию дел;

- недопустимо большие задержки реагирования системы управления на изменения, происходящие в управляемом процессе, внутренняя неэффективность центральных и региональ-

ных организационно-управленческих структур, их недостаточная адаптационная способность к изменениям условий;

- крайне низкий уровень культуры управления во всех сферах общественной жизни – от высших государственных уровней до управления предприятиями и организациями регионального уровня;

- ложный, корыстный характер управленческих решений, превращение политики в форму сверхприбыльного предпринимательства, и повальная коррумпированность управленческого аппарата почти всех уровней.

Следует обратить внимание на то, что абсолютное большинство негативных последствий произошедших в нашей стране производственно-экономических кризисов связано с вторжением на руководящие позиции непрофессиональных, но активных людей и бесчестных дилетантов, рвущихся к власти ради удовлетворения своих корыстных интересов. Таким образом, обратной стороной производственно-экономических кризисов следует признать кризисы профессионализма управленческих кадров. Соответственно, трудности, с которыми сталкиваются управленцы при разработке усовершенствованных моделей системы управления предприятиями и организациями, приспособленных к функционированию в условиях кризисной рыночной экономики, носят явно выраженный субъективный характер.

Организационные кризисы вызваны несовершенством организационно-управленческих структур, заложенными в них противоречиями и недоработками. Примером в этом отношении могут служить такие, часто наблюдаемые явления, как неполнота и дублирование функций должностных лиц, информационная избыточность, или, наоборот, недостаточность. *Параметрические* кризисы возникают вследствие несовершенства структурных элементов, образующих ту или иную систему, а так же из-за несоответствия параметров этих элементов своему функциональному предназначению. Типичной причиной такого типа кризиса служит низкая компетенция какого-либо должностного лица.

После кризиса развитие конфликта может происходить по следующим направлениям:

- 1) $S_{кр} \rightarrow (S_{-} \text{ или } S_{++} \text{ или } S_{+-} \text{ или } S_{00})$, то есть перейти в одно из локально устойчивых макросостояний состояний, что означает – в ходе кризиса стороны сумели найти взаимоприемлемые ре-

шения, позволившие не довести конфликт до катастрофы или гибели его участников;

2) $C_{кр} \rightarrow C_{кт}$, то есть перейти в состояние катастрофы, что, например, соответствует случаю, когда стороны по недомыслию или сознательно ведут себя так, что катастрофа системы становится неизбежной;

3) $C_{кр} \rightarrow S_0$, то есть завершиться гибелью одной, нескольких или всех систем, участвующих в конфликте.

Сравнивая кризисы с другими мезосостояниями конфликта, следует отметить – дойдя до этого состояния, участники конфликта, с одной стороны, начинают настолько тесно взаимодействовать друг с другом, что фактически образуют уже единую систему, а с другой стороны, попадают в крайне неустойчивое положение, наиболее близкое к возможной катастрофе или гибели. Но кризисы не фатальны в том смысле, что итоги их развития зависят не столько от внешних факторов, сколько от действий противостоящих сторон, самыми нежелательными из которых будут те, что ведут к гибели или к катастрофе.

2.4. КАТАСТРОФА

Прежде всего отметим, что это состояние конфликтного процесса не следует отождествлять с гибелью системы. Потерпев катастрофу, система может восстановить свое функционирование, то есть войти в свою фундаментальную функциональную нишу, используя присущие ей адаптационные механизмы. Гибель же – это катастрофа, после которой разрушаются адаптационные механизмы системы, и она теряет способность занять свою фундаментальную функциональную нишу после отклоняющих воздействий. Если прибегнуть к медицинской терминологии, то катастрофа выражается, например, в пребывании больного в реанимационном отделении после перенесенного кризиса болезни.

Из состояния катастрофы конфликт может развиваться по двум направлениям: ($C_{кт} \rightarrow S_0$) или [$C_{кт} \rightarrow (S_-$ или S_{++} или S_{+-} или $S_{00})$], то есть двигаться либо к гибели его участников, либо к одному из новых устойчивых состояний: нейтралитету, содействию, другим формам эксплуатации или иным формам противоборства.

2.5. МОДЕЛЬ МЕЗОДИНАМИКИ КОНФЛИКТА

Согласно введенным состояниям развитие конфликтного процесса на мезоскопическом уровне его представления происходит в четырехмерном пространстве состояний (${}_4L$), осями которого выступают: конфликтная ситуация ($C_{КС}$); латентная стадия ($C_{ЛС}$); кризис ($C_{КР}$); катастрофа ($C_{КТ}$). Это пространство жестко связано с макропространством ${}_5E$ (${}_{13}E$) и не существует вне его. Эта связь проявляется в том, что процесс мезодинамики рынка начинается из макропространства и завершается в нем. Поэтому изображающая точка динамики конфликта на мезоуровне характеризуется вектором $\{(S_0, S_{--}, S_{++}, S_{+-}, S_{00}), (C_{КС}, C_{ЛС}, C_{КР}, C_{КТ})\}$ или $\{(S_0, S_{--}^1, S_{--}^2, S_{--}^3, S_{--}^4, S_{++}^1, S_{++}^2, S_{++}^3, S_{++}^4, S_{+-}^1, S_{+-}^2, S_{+-}^3, S_{+-}^4, S_{00}), (C_{КС}, C_{ЛС}, C_{КР}, C_{КТ})\}$. Далее для простоты будем считать, что изображающая точка процесса задается вектором $\{(S_0, S_{--}, S_{++}, S_{+-}, S_{00}), (C_{КС}, C_{ЛС}, C_{КР}, C_{КТ})\}$.

С учетом сказанного модель динамики конфликта на мезоуровне его представления может быть изображена в виде графа рис. 1.5.[5]

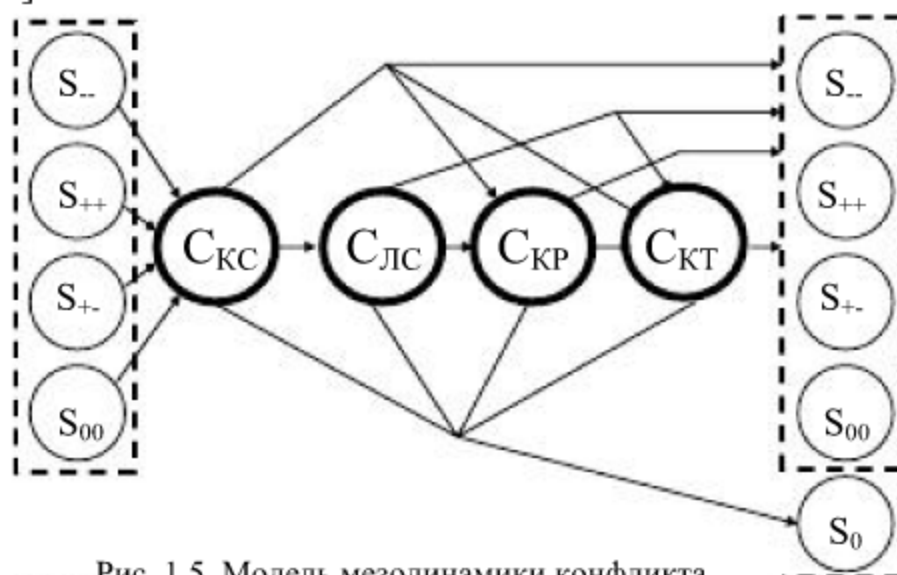


Рис. 1.5. Модель мезодинамики конфликта

Вершины этого графа, отмеченные сплошными кружками, соответствуют мезосостояниям конфликтного процесса ($C_{КС}$, $C_{ЛС}$, $C_{КР}$, $C_{КТ}$), пунктирными кружками – начальным и конечным состояниям (то есть макросостояниям S_0 , S_{--} , S_{++} , S_{+-} , S_{00}), а линии – возможным направлениям перехода процесса из одних состояний в другие.

Отметим основные свойства этой модели, существенные с точки зрения ее практической реализации. Первое свойство за-

ключается в том, что данная модель имитирует динамику конфликтного процесса, приводящего к смене его макросостояний, что формально выражается в изменении знаковой структуры матрицы $N \times N$

$$C(t) = \left\| \begin{array}{ccc|c} c_{11}(t) & c_{12}(t) & \dots & c_{1N}(t) \\ c_{21}(t) & c_{22}(t) & \dots & c_{2N}(t) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{N1}(t) & c_{N2}(t) & \dots & c_{NN}(t) \end{array} \right\|_{\Delta T}, \quad (1.8)$$

с компонентами: $c_{ij}(t) = \frac{\partial \left[\frac{dE_i(t)}{dt} \right]}{\partial E_j(t)} \Big|_{\Delta T}, i, j = 1, \dots, N,$

где $E_i(t), E_j(t)$ – эффективность i -го и j -го субъектов конфликта; ΔT – рассматриваемый интервал времени.

Это означает, что выходом данной модели должна быть переходная матрица

$$M = \left\| \begin{array}{cccc} m_{11} & m_{12} & \dots & m_{1N} \\ m_{21} & m_{22} & \dots & m_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ m_{N1} & m_{N2} & \dots & m_{NN} \end{array} \right\|, \text{ компоненты которой удовлетворяют}$$

условиям $\sum_{i=1}^N m_{ij} = 1; j = 1, 2, \dots, N; m_{ij} \geq 0$ и характеризуют вероятностным образом возможные направления переходов конфликтного процесса из одних макросостояний в другие.

Второе важное свойство рассмотренной модели состоит в том, что ей имитируется процесс, имеющий особое поглощающее состояние S_0 и обладающий свойством необратимости (в нем не допускаются переходы типа $C_{КТ} \rightarrow C_{КР} \rightarrow C_{ЛС} \rightarrow C_{КС}$). Причем это не случайный и не детерминированный, а вероятностно-детерминированный управляемый процесс взаимодействия конфликтующих субъектов.

ГЛАВА 3. МИКРОДИНАМИКА

По определению микродинамическая модель описывает развитие конфликта в рамках какого-либо макросостояния. Для разработки такой модели необходимо зафиксировать макросостояние кон-

фликта, а затем, используя математические или какие-либо другие методы, построить микромодель конфликта. Естественно, что она будет справедлива только для данного и ни какого другого макросостояния. Более того, поскольку при детальном анализе необходимо учитывать конкретные свойства моделируемого процесса, то вполне очевидно, что невозможно разработать универсальную модель микродинамики любого конфликта. Необходимо исходить из специфики проблемной области. Продемонстрируем принципы построения микродинамической модели на примере антагонистического конфликта типа дуэли [18].

3.1. МОДЕЛЬ ДИНАМИКИ АНТАГОНИСТИЧЕСКОГО КОНФЛИКТА

В конфликтах этого типа несовместимы цели противоборствующих субъектов, то есть существует некое конечное состояние, называемое выигрышем или победой, достичь которого может только одна сторона, а развиваются они по симметричной многошаговой схеме «мера-контрмера», когда в ответ на действие одной стороны следует действие другой стороны. Причем каждая из сторон должна располагать такими способами действий, на которые другая сторона имеет возможность ответить адекватными действиями, то есть в конфликтах типа дуэли выполняется принцип баланса сил. В противном случае одна из сторон будет заведомо иметь преимущество, и исход противоборства становится очевидным. Таким образом, в этих конфликтах выигрыш достигается за счет того, что одна сторона упреждает другую сторону в действиях. Другая особенность конфликтов этого типа состоит в том, что каждая сторона действует вполне целеустремленно, то есть, имеет ясную цель и осознанно выбирает рациональные способы ее достижения с учетом возможной реакции противостоящей стороны. Для этого на каждом шаге конфликта противостоящие стороны оценивают результаты предшествующих шагов, добывают информацию о намерениях противника, прогнозируют его возможные действия на последующих шагах и принимают решение относительно стратегии и тактики собственного поведения.

С учетом отмеченных особенностей укрупненную модель динамики конфликта типа дуэли можно представить в виде ориен-

тированного симметричного периодического графа (рис. 1.6), вершины которого обозначают результаты действий его участников («А» и «Б») на каждом шаге (выигрыши – V_A^i, V_B^i , P_A^i, P_B^i – проигрыши, i – номер шага процесса), а дуги – возможные переходы процесса из состояния в состояние (выигрыш или проигрыш), взвешенные плотностями распределения вероятности времени достижения сторонами цели ($\omega_{0,i}^A(t), \omega_{0,i}^B(t)$) и статистическими характеристиками начала действия так же в виде плотности распределения вероятностей времени начала действия (при условии, что действие происходит мгновенно) $\omega_{D,i}^A(t), \omega_{D,i}^B(t)$.

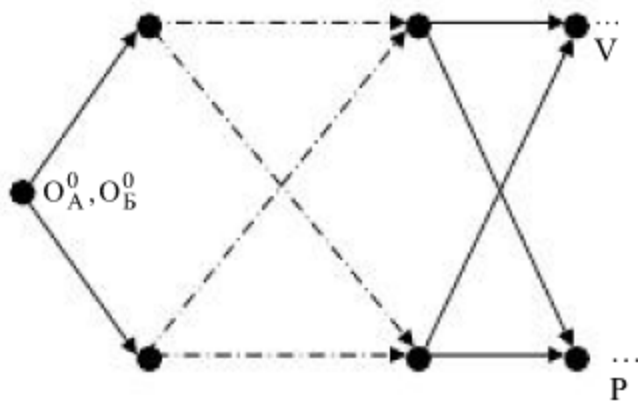


Рис. 1.6. Граф динамики конфликта типа дуэли

стижении желаемого для них изменения ситуации. Например, если речь идет о продвижении какого-либо товара на новый рынок, то выигрыши (проигрыши) могут интерпретироваться следующим образом: V_A^1, V_B^1 (P_A^1, P_B^1) – увеличение (снижение)

объема продаж за счет упреждения конкурента в серийном выпуске товара; V_A^2, V_B^2 (P_A^2, P_B^2) – увеличение (снижение) объема продаж за счет опережения конкурента в завозе и складировании товара; V_A^3, V_B^3 (P_A^3, P_B^3) – увеличение (снижение) объема продаж за счет упреждения конкурента в разворачивании рекламной компании; V_A^4, V_B^4 (P_A^4, P_B^4) – увеличение (снижение) объема продаж за счет опережения конкурента в массовом выбросе товара на рынок. Каждый выигрыш (проигрыш), достигнутый в результате элементарного шага (кроме последнего), определяет начальные условия для следующего шага.

В предположении марковости процесса суммарный выигрыш сторон после n шагов определяется выражениями:

$$V_A^\Sigma(n) = O_A^0 + \sum_{i=1}^n \int_0^t [V_A^i \omega_i^{AB}(t) - P_A^i \omega_i^{BA}(t)] dt \quad \text{– для стороны «А»}; \quad (1.9)$$

$$V_B^\Sigma(n) = O_B^0 + \sum_{i=1}^n \int_0^t [V_B^i \omega_i^{BA}(t) - P_B^i \omega_i^{AB}(t)] dt - \text{для стороны «Б»}, \quad (1.10)$$

где O_A^0, O_B^0 – исходное состояние конфликта, интерпретируемое (для нашего примера) как объемы продаж конкурирующих сторон до начала противоборства; $\omega_i^{AB}, \omega_i^{BA}$ – упреждения противника на i -м шаге процесса, интерпретируемые как плотности вероятности достижения цели конкурентом «А» («Б») раньше, чем «Б» («А») осуществит свои действия и рассчитываемые по формулам [18]:

$$\omega_i^{AB}(t) = \omega_{0,i}^A(t) \left(1 - \int_0^t \omega_{D,t}^B(t) dt \right) - \text{для стороны «А»}; \quad (1.11)$$

$$\omega_i^{BA}(t) = \omega_{0,i}^B(t) \left(1 - \int_0^t \omega_{D,t}^A(t) dt \right) - \text{для стороны «Б»}. \quad (1.12)$$

Как известно, для совершения целевого действия необходима информация. Ее нужно добыть, обработать и представить в соответствующем виде субъекту, принимающему решение на совершение действия. Так, в том же примере после упреждения конкурента в серийном выпуске товара для его опережения в заводе и складировании товара необходимо произвести дополнительный мониторинг рынка, провести переговоры и заключить договоры с транспортными предприятиями, арендовать складские помещения. Очевидно, что стороны, преследуя противоположные цели, будут мешать друг другу в проведении таких операций, перекрывая конкуренту возможность получения необходимых сведений. В результате кризисный процесс приобретает информационную составляющую. Поскольку субъекты информационного противоборства действуют в расчете на выигрыш, то для описания информационной части процесса следует построить граф, аналогичный рис. 1.6, но с соответствующей заменой содержательной трактовки выигрышей $V \rightarrow I$ и проигрышей $P \rightarrow J$, где I и J – соответственно информационные выигрыши и проигрыши. Заметив, что информационный процесс должен развиваться между смежными состояниями основного процесса (например, между 1, 2 и 3), приходим к вложению графов (рис. 1.7).

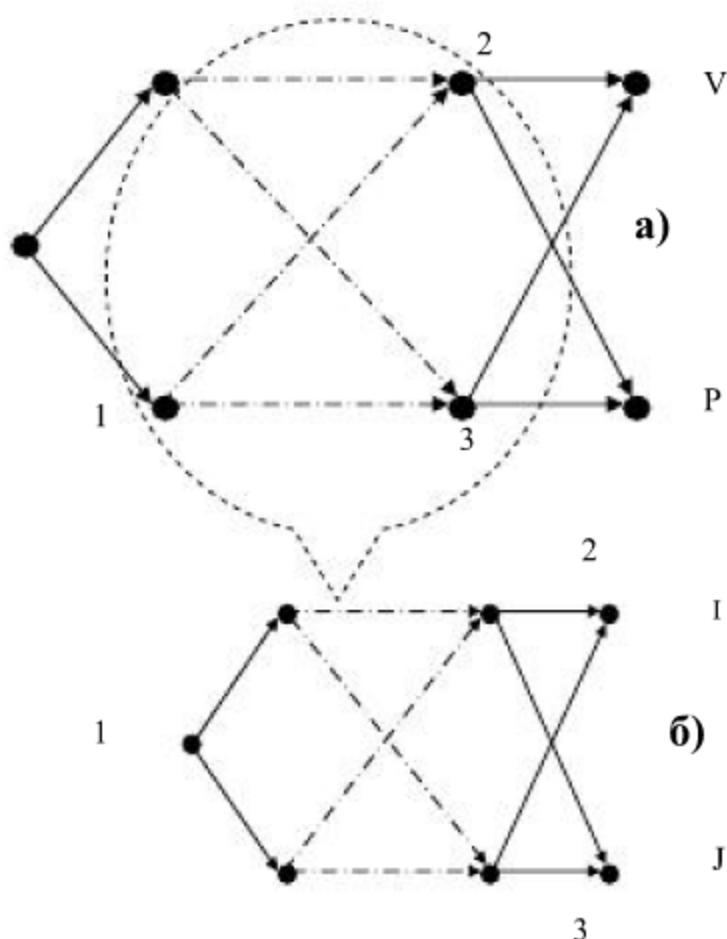


Рис. 1.7. Граф динамики конфликта типа дуэли с учетом информационного противоборства

На графе основного кризисного процесса а) выделяется фрагмент (отмеченный пунктирной выноской), который разворачивается в подграф информационного противоборства б).

Для получения расчетных соотношений динамики конфликтного процесса в целом (то есть с учетом информационного противоборства) необходимо, используя формулу Байеса, перейти от безусловных (ω_i^{AB} , ω_i^{BA}) к условным плотностям ϖ_i^{AB} ϖ_i^{BA} :

$$\varpi_i^{AB}(t) = \frac{\omega_i^{AB}(t)}{\vartheta_i^{AB}(t)} v_i^{AB}(t) - \text{для стороны «А»}, \quad (1.13)$$

где ϖ_i^{AB} – плотность вероятности достижения цели конкурентом «А» раньше, чем «Б» осуществит свои действия при условии, что конкурент «А» опередил конкурента «Б» в информационном противоборстве; ϑ_i^{AB} – плотность вероятности упреждения стороной «А» конкурента «Б» в информационном противоборстве; v_i^{AB} – плотность вероятности упреждения стороной «А» конкурента «Б» в информационном противоборстве при условии, что информационная борьба ведется в условиях опережения противника в действиях.

$$\varpi_i^{BA}(t) = \frac{\omega_i^{BA}(t)}{\vartheta_i^{BA}(t)} v_i^{BA}(t) - \text{для стороны «Б»}, \quad (1.14)$$

где ϖ_i^{BA} – плотность вероятности достижения цели конкурентом «Б» раньше, чем «А» осуществит свои действия при условии, что конкурент «Б» опередил конкурента «А» в информационном противоборстве; ϑ_i^{BA} – плотность вероятности упреждения стороной «Б» конкурента «А» в информационном противоборстве; v_i^{BA} – плотность вероятности упреждения стороной «Б» конкурента «А» в информационном противоборстве при условии, что информационная борьба ведется в условиях опережения противника.

Тогда, с учетом информационного противоборства выражения для расчета суммарного выигрыша сторон в конфликте типа дуэли запишутся в виде:

$$V_A^\Sigma(n) = O_A^0 + \sum_{i=1}^n \int_0^t [V_A^i \frac{\omega_i^{AB}}{\vartheta_i^{AB}} v_i^{AB}(t) - P_A^i \frac{\omega_i^{BA}}{\vartheta_i^{BA}} v_i^{BA}(t)] dt - \text{для «А»}; \quad (1.15)$$

$$V_B^\Sigma(n) = O_B^0 + \sum_{i=1}^n \int_0^t [V_B^i \frac{\omega_i^{BA}}{\vartheta_i^{BA}} v_i^{BA}(t) - P_B^i \frac{\omega_i^{AB}}{\vartheta_i^{AB}} v_i^{AB}(t)] dt - \text{для «Б»}. \quad (1.16)$$

Введем обозначение

$$\chi_A(n) = \sum_{i=1}^n \int_0^t [V_A^i \frac{\omega_i^{AB}}{\vartheta_i^{AB}} v_i^{AB}(t) - P_A^i \frac{\omega_i^{BA}}{\vartheta_i^{BA}} v_i^{BA}(t)] dt;$$

$$\chi_B(n) = \sum_{i=1}^n \int_0^t [V_B^i \frac{\omega_i^{BA}}{\vartheta_i^{BA}} v_i^{BA}(t) - P_B^i \frac{\omega_i^{AB}}{\vartheta_i^{AB}} v_i^{AB}(t)] dt.$$

Тогда после n шагов конфликта возможны следующие исходы: если $\chi_A(n) > O_A^0$ и $\chi_B(n) > O_B^0$, то выигрывают обе стороны; если $\chi_A(n) < O_A^0$ и $\chi_B(n) < O_B^0$, то обе стороны проигрывают; если $\chi_A(n) < O_A^0$, а $\chi_B(n) > O_B^0$, то сторона «Б» выигрывает, а сторона «А» проигрывает; если $\chi_A(n) > O_A^0$, а $\chi_B(n) < O_B^0$, то сторона «А» выигрывает, а сторона «Б» проигрывает; если $\chi_A(n) \approx O_A^0$ и $\chi_B(n) \approx O_B^0$, то ни одна из сторон не проигрывает и не выигрывает; если $\chi_A(n) > O_A^0$, а $\chi_B(n) \approx O_B^0$, то сторона «А» выигрывает;

ет, а сторона «Б» не проигрывает; если $\chi_A(n) < O_A^0$, а $\chi_B(n) \approx O_B^0$, то сторона «А» проигрывает, а сторона «Б» не проигрывает и не выигрывает; если $\chi_A(n) \approx O_A^0$, а $\chi_B(n) > O_B^0$, то сторона «Б» выигрывает, а сторона «А» не проигрывает и не выигрывает; если $\chi_A(n) \approx O_A^0$, а $\chi_B(n) < O_B^0$, то сторона «Б» проигрывает, а сторона «А» не проигрывает и не выигрывает.

Помимо указанных возможны такие исходы: если $\chi_A(n) > O_A^0$ и $\chi_B(n) > O_B^0$, и при этом $\chi_A(n) > \chi_B(n)$, то обе стороны выигрывают, но сторона «А» выигрывает больше, чем сторона «Б»; если $\chi_A(n) < O_A^0$ и $\chi_B(n) < O_B^0$, и при этом $\chi_A(n) < \chi_B(n)$, то обе стороны проигрывают, но сторона «А» проигрывает меньше, чем сторона «Б».

3.2. ВЫБОР СТРАТЕГИИ В АНТАГОНИСТИЧЕСКОМ КОНФЛИКТЕ

В антагонистическом конфликте поведение сторон принято характеризовать стратегией и тактикой. Тактика – это план действия противоборствующих сторон на один элементарный шаг конфликта. Стратегией называется план действия сторон на весь период развития конфликта вплоть до его завершения. Стратегия играет координирующую роль по отношению к тактике в том смысле, что тактика действия каждого участника конфликта подчинена принятой стратегии, однако при определении тактических действий должна присутствовать определенная свобода выбора. В рамках одной и той же стратегии следует допускать различные варианты тактических действий. Но возможен и крайний вариант, когда стратегия полностью определяет тактику. В дальнейшем для упрощения будем полагать, что стратегией однозначно задается тактика действий конфликтующих сторон, то есть будем оперировать только понятием стратегии.

Каждая из сторон должна перед началом конфликта выбрать стратегию своего поведения с целью завершить конфликт в свою пользу, сообразуясь при этом с условиями внешней обстановки, своими возможностями и исходя из возможных стратегий пове-

дения противника. Конечно, по ходу конфликта стратегии могут и должны меняться, но в любом случае существует проблема выбора первоначальной стратегии (отсутствие стратегии – это тоже стратегия). Суть проблемы состоит в том, что сторона, делающая выбор, тем или иным способом должна установить, в какой мере другая сторона склонна и способна следовать избранной стратегии и уже на этой основе принять решение относительно стратегии своего поведения. Существует три способа решения такой проблемы: игровой, ситуационный и оперативный [19].

При игровом способе ситуация конфликтного взаимодействия считается вероятностной, а конфликтный процесс – эргодическим. Решение принимается путем усреднения оценок вероятностей исходов конфликта по множеству реализаций конфликтного процесса. При этом наилучшим считается решение, гарантирующее в среднем минимальный проигрыш в условиях, когда противник применяет максимально неудобную стратегию, а мы в ней ведем себя наилучшим образом. Такой способ принятия решений можно назвать осторожным – стремись к лучшему, но исходи из худшего. В том же духе советовал поступать Марк Тулий Цицерон: *«Следует не только выбирать из зол наименьшее, но и извлекать из них самих то, что может быть в них хорошего»*. Так целесообразно поступать в ситуациях, когда достоверно установлен весь перечень возможных стратегии поведения противника и требуется не столько победа над ним, сколько сведение к минимуму риска собственного поражения. Изучением алгоритмов, реализующих стохастический способ разрешения конфликтных ситуаций, занимается теория игр и статистических решений.

При ситуационном способе стороны выбирают стратегии своего поведения, основываясь на данных разведки, цель которой состоит в добывании максимально достоверных сведений относительно того, какую стратегию намерен использовать противник в предстоящем конфликте. При таком способе считается, что каждой стратегии противника соответствует адекватная стратегия собственного поведения, а проблема выбора сводится по существу к оценке полноты и достоверности информации о противостоящей стороне. Поэтому при ситуационном выборе стратегии потенциально выигрывает в конфликте сторона, располагающая более полной и достоверной информацией о намерениях противника. В реальных конфликтах использование ситуационного спо-

соба существенно усложняется тем, что конфликтующие стороны применяют специальные меры противодействия разведке противника (дезинформацию, оперативную маскировку, имитацию намерений и т.д.). Поэтому целесообразно исходить из того, что антагонистический конфликт начинается задолго до того, как он будет проявлен в виде активных физических действий. Активной фазе конфликта предшествует информационная борьба, которая не прекращается вплоть до завершения конфликта. Выигрыш в информационной борьбе еще не означает выигрыша в конфликте, но именно в этой сфере закладываются предпосылки к победе или к поражению. Ситуационный способ выбора стратегии применяется и в том случае, когда конфликтующая сторона не очень уверена в достоверности информации, добываемой собственной разведкой, но готова рисковать, полагая, что уже в ходе противоборства ей удастся добыть новую информацию и скорректировать свои действия. Как говорил Наполеон Бонапарт: *«Надо ввязаться в бой, потом видно будет»*.

При оперативном способе стороны не только принимают решение относительно стратегии своего поведения, но и навязывают противнику выгодную им стратегию его поведения. Этот способ реализуется в виде рефлексивного управления, которое рассмотрено выше. Здесь же отметим следующее. Рефлексивное управление является наиболее универсальным способом выбора стратегий в антагонистических конфликтах и играет огромную роль в таких областях человеческой деятельности, как дипломатия, политика, административно-управленческая деятельность. Его несомненное достоинство заключается в возможности гибкого сочетания как силового, так и информационного давления на противника: победа в противоборстве достигается не только силой, но и умом. Способность осуществлять рефлексивное управление – признак талантливого руководителя, умеющего поставить под контроль «волю случая» путем навязывания взаимодействующей стороне желаемый ему способ действия. Во многом – это искусство. Однако, как известно, каждое искусство имеет свою науку, то есть «хранительницу» законов, лежащих в основе данного искусства.

Завершая обсуждение модели антагонистических конфликтов, следует обратить внимание на еще одну особенность, актуальную в век демократических перемен [21]. В таких конфликтах

недопустимы неуверенность и колебания. Если такой конфликт развязан, то все сомнения должны быть отброшены, а основные усилия сосредоточены на достижении победы всеми допустимыми способами. Потом история рассудит, кто был прав, а кто виноват, но если в ходе такого конфликта проявить малодушие и нерешительность, то исход однозначен – будешь виноват. Исторических примеров тому несть числа.

* * *

Согласно изложенной модели динамика конфликтов представляет собой многослойный, иерархический, многошаговый, вероятностно-детерминированный, полифуркационный процесс, протекающий на макро-, мезо- и микроуровнях. На макроуровне дается максимально укрупненное описание динамики конфликта с точностью до таких состояний как содействие, противодействие, эксплуатация, гибель и их разновидностей. Образно говоря, это взгляд на конфликт с высоты птичьего полета, когда нас не интересуют детали, но важно понять что происходит по-крупному. Мезоуровень позволяет детализировать процессы перехода конфликта из одного макросостояния в другое. Здесь, оперируя более тонкими состояниями конфликта (такими как конфликтная ситуация, латентная стадия, кризис, катастрофа), мы выявляем причины и побудительные мотивы смены макросостояний, и устанавливаем возможные траектории развития конфликтного процесса. Микроуровень позволяет детально рассмотреть и подробно проанализировать процессы, которые происходят внутри макросостояний конфликта, и, используя математические методы моделирования, оценить результаты конфликтного взаимодействия.

Зачем потребовалось столь сложное представление динамики конфликтов? Прежде всего, такая модель ориентирует исследователя на то, что конфликт недопустимо отождествлять с такими понятиями как противоборство, столкновение, обострение противоречий, конфронтация, кризис, катастрофа, которые суть его составляющие, причем вовсе необязательные. Любое «усеченное» понимание конфликта снижает ценность научных рекомендаций по способам урегулирования противоборств и кризисов, предупреждению катастроф и снижению уровня конфронтаций. Вместе с тем, в современных конфликтологических исследованиях ограниченность в трактовке конфликта – типовая ситуация. На прак-

тике такое понимание конфликта приводит к тому, что обстоятельное расследование случившегося выливается в поиск «стрелочников» и наказание «козлов отпущения». Тем все и завершается, а истинные причины произошедшего продолжают свое действие, приводя к новым катастрофам, кризисам, противоборствам и конфронтациям.

Кроме того, многослойное представление динамики конфликта позволяет несколько расширить и, самое главное, дифференцировать горизонты его прогноза. Так, на микроуровне существует возможность совершенно точно установить характер развития конфликтного процесса на период существования данного макросостояния. На мезоуровне можно спрогнозировать и ранжировать вероятные варианты его развития, и указать чего следует опасаться и чего не следует делать, чтобы не усугубить ситуацию. Макромодель позволяет назвать потенциальные горизонты прогноза, то есть выяснить, что можно ожидать в данном конфликте и что следует прогнозировать.

Далее. Предложенная модель позволяет ввести достаточно полную и объективную шкалу для оценки уровня конфликтности изучаемого явления. Так, если говорить о мезоуровне, то такая шкала может быть представлена следующим образом: C_{KC} – начальный уровень конфликтности, C_{JC} – средний уровень конфликтности, C_{KP} – высокий уровень конфликтности, C_{KT} – наивысший уровень конфликтности. При изучении явлений на макроуровне шкала конфликтности выглядит по-другому: S_{00} – полная неопределенность (нулевое противодействие и нулевое содействие), S_{-} – наивысшая конфликтность, S_{++} – полное отсутствие конфликтности, S_{+-} – средняя конфликтность, S_0 – полная определенность (отсутствие как противодействия, так и содействия). В свою очередь каждая точка такой шкалы (естественно кроме S_0 и S_{00}) может иметь свои градации конфликтности. Так, например, для S_{-} оценки уровня конфликтности таковы: S^1_{-} – высокая степень противоборства, S^2_{-} – средняя степень противоборства, S^3_{-} – низкая степень противоборства. Если речь идет об анализе конфликта на микроуровне, то, как было показано выше, можно ввести количественные шкалы оценки уровня конфликтности, например, по экономическим убыткам, понесенным тем или иным участником конфликта. Конечно, такая шкала (в математике она называется тензорной) не очень наглядна и весьма за-

труднительна для восприятия. Приходится мириться, столь сложное явление как конфликтность нельзя измерить простой шкалой.

Если «плоская» модель есть не более чем начальная, нулевая степень приближения к пониманию существа динамики конфликтов, то трехслойная модель – это шаг вперед, первый уровень познания их сути, позволяющий перейти от разговоров о проблемах и трудностях урегулирования конфликтов к научным методам управления этими процессами.

В природных конфликтах траектория их развития формируется естественным путем под действием физических или биологических законов. В социальных системах характер движения и результаты конфликтов зависят от сознательного и разумного поведения его участников. Поэтому социальные конфликты регулируются и управляемы. При катастрофическом завершении какого-либо социального конфликта ссылка на «волю случая» или «роковое стечение обстоятельств» не только неуместна, но и вредна. Любая система, в том числе социальная, устойчива не тем, что в ней нет конфликтов, а своей способностью к рациональному управлению ими.

ЛИТЕРАТУРА

1. Arzhakov M.V. Vodel and technologies of settlement of relations of economic operation – Voronezh: Quarta, 2007. – 160 with.

2. Аржаков М.В. Модели и технологии урегулирования отношений экономической эксплуатации. – Воронеж: Изд-во Научная книга, 2006. – 158 с.

3. Аржаков М.В. Сценарии и математические модели эксплуатации в рыночных экономических системах // Сб. тр. IV международной конф. «Системы управления эволюцией организации (CSOE 2007)». – М.: ИПУ РАН, – 2007. С. 25-33.

4. Аржаков М.В. Типы компромиссов во взаимоотношениях «эксплуататор-эксплуатируемый» // Сб. тр. IV международной конф. «Системы управления эволюцией организации (CSOE 2007)». – М.: ИПУ РАН, – 2007. С. 33-35.

5. Аржаков М.В., Аржакова Н.В., Демин Б.Е., Новосельцев В.И. Теория конфликта и ее приложения / Под ред. В.И. Новосельцева / – Воронеж: Изд-во Кварта, 2005. – 252 с.

6. Аржаков М.В., Аржакова Н.В., Новосельцев В.И. Управление конфликтами / Под ред. В.И. Новосельцева / – Воронеж: Изд-во Кварта, 2005. – 180 с.
7. Аржаков М.В., Редкозубов С.А. О проблеме управления в экономических системах с отношениями эксплуатации // Сб. тр. IV международной конф. «Системы управления эволюцией организации (CSOE 2007)». – М.: ИПУ РАН, – 2007. С. 15-25.
8. Аржакова Н.В., Новосельцев В.И., Редкозубов С.А. Управление динамикой рынка: системный подход / Под ред. В.И. Новосельцева / – Воронеж: ВГУ, 2004 – 242 с.
9. Баркалов С.А., Белоусов В.Е., Михин П.В., Серебряков В.И., Токарева Е.И. Управление качеством: Учебное пособие. – Воронеж, ВГАСУ. 2006 – 220 с.
10. Беллман Р. Введение в теорию матриц. – М.: Наука, 1969.
11. Богданов А.А. Тектология: (Всеобщая организационная наука). В 2-х кн.: Кн. 2. – М.: Экономика, 1989.
12. Дружинин В.В., Конторов Д.С., Конторов М.Д. Введение в теорию конфликта. – М.: Радио и связь, 1989.
13. Кудрявцев В.Н. и др. Основы конфликтологии: Уч. пособие / Под ред. В.Н. Кудрявцева. – М.: Юрист, 1997.
14. Лукьянов С.В. Классификация кризисов / С.В. Лукьянов // Сб. тр. IV Всероссийской научн.-техн. конф. «Теория конфликта и ее приложения» – Воронеж: «Научная книга». – 2006. – С. 128-131.
15. Лукьянов С.В. Кризисные и лизисные технологии управления в экономических системах / С.В. Лукьянов // Сб. тр. IV международной конф. «Системы управления эволюцией организации (CSOE 2007)». – М.: ИПУ РАН, – 2007. С. 43-47.
16. Лукьянов С.В. Модели, способы и алгоритмы управления социально-экономическими кризисами. – Воронеж: Научная книга. – 2007. – 128 с.
17. Лукьянов С.В. Модель динамики кризиса / С.В. Лукьянов // Сб. тр. V международной конф. «Системы управления эволюцией организации (CSOE 2007)». – М.: ИПУ РАН, – 2007. С. 48-68
18. Лукьянов С.В. Модель динамики кризисного процесса типа дуэли // Сб. тр. V международной конф. «Системы управления эволюцией организации (CSOE 2007)». – М.: ИПУ РАН, – 2007. С. 68-72.

19. Новосельцев В.И. Системная конфликтология. – Воронеж: Кварта, 2001. – 174 с.
20. Новосельцев В.И. Системный анализ: современные концепции / изд. 2-е испр. и доп. – Воронеж: Кварта, 2003. – 320 с.
21. Новосельцев В.И., Мельников В.М. Конфликтология: Уч. пособие. – Воронеж: Российская государственная академия правосудия (Центральный филиал), 2004. – 320 с.
22. Новосельцев В.И., Редкозубов С.А. Конфликты, самоорганизация и эволюция систем // Сб. тр. IV международной конф. «Системы управления эволюцией организации (CSOE 2007)». – М.: ИПУ РАН, – 2007. С. 9-15.
23. Новосельцев В.И., Тарасов Б.В. и др. Логико-лингвистические модели в военных системных исследованиях. – М.: Воениздат, 1988. – 286 с.
24. Федоров В.Д., Гильманов Г.Т. Экология. – М.: МГУ, 1980.
25. Хакен Г. Информация и самоорганизация: Макроскопический подход к сложным системам. – М.: Мир, 1991.
26. Хакен Г. Синергетика: иерархия неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах. – М.: Мир, 1985.

ЧАСТЬ 2. МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ КОНФЛИКТАМИ

В настоящее время сложилось достаточно много представлений и точек зрения о сущности и содержании понятия «управление». В данной работе при построении моделей управления конфликтами мы будем придерживаться базовых понятий классической (кибернетической) концепции управления, уточняя и расширяя их с учетом результатов, полученных в рамках теории конфликта [14].

ГЛАВА 1. БАЗОВЫЕ ПОНЯТИЯ КИБЕРНЕТИЧЕСКОЙ КОНЦЕПЦИИ УПРАВЛЕНИЯ

1.1. КЛАССИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ

Согласно кибернетическим представлениям под управлением (в широком смысле) понимается воздействие управляющего субъекта на управляемый объект с целью сохранения его существующего состояния или перевода из текущего состояния в другое – желаемое состояние.

Классическая модель управления в ее простейшем варианте представлена на рис. 2.1, где приняты следующие обозначения: US – управляющий субъект; UO – управляемый объект; $\xi(t)$ – внешние отклоняющие воздействия, U – управляющие воздействия или управления; O – обратная связь.

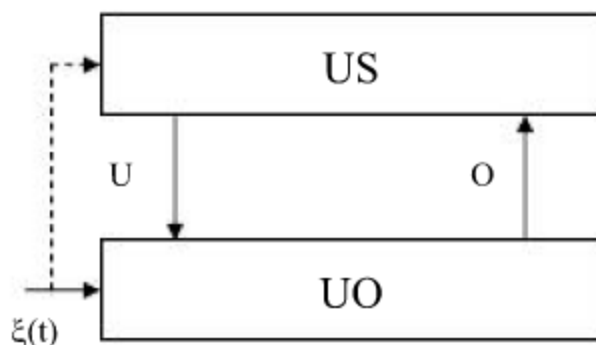


Рис. 2.1. Классическая модель кибернетического представления управления (простейший вариант)

Под обратной связью будем понимать влияние результатов функционирования системы на характер самого функционирования. Пусть: $X(t)$ – входное воздействие, $\xi(t)$ – отклоняющее воздействие, $Y(t)$ – выход (реакция) системы, F – оператор преобразования входного и отклоняющего воздействий в реакцию системы, $X_0(t)$ – выход обратной связи, $Y_0(t)$ – вход обратной связи, O_0 – оператор обратной связи. Для простоты будем считать, что $Y_0(t) = Y(t)$, то есть вход обрат-

ной связи есть выход системы. Тогда можно записать: $Y(t) = F[X(t), \xi(t), X_0(t)]$, но $X_0(t) = O_0[Y(t)]$, а следовательно, $Y(t) = F\{X(t), \xi(t), O_0[Y(t)]\}$, что означает: при наличии обратной связи выход системы (ее реакция) определяется не только входными и отклоняющими воздействиями, но характером обратной связи.

По характеру своего действия обратные связи будем подразделять на отрицательные и положительные. К отрицательным обратным связям отнесем те, которые стремятся возратить управляемый объект в устойчивое состояние после отклоняющих воздействий. Положительные обратные связи не устраняют возникающих в управляемом объекте изменений после отклоняющих воздействий, а напротив, приводит к еще более сильному отклонению системы от своего устойчивого состояния. Как положительные, так и отрицательные обратные связи будем подразделять на детерминированные и случайные, стабильные и нестабильные, сосредоточенные (кумулятивные) и рассредоточенные, запаздывающие и опережающие, усиливающие и ослабляющие (компенсирующие), транслирующие и преобразующие. Комбинируясь и наполняясь конкретным содержанием, обратные связи образуют бесконечное множество механизмов, которые формируют целостные свойства систем, а также определяют характер их поведения.

Целевое регулирование обратных связей есть управление поведением управляемого объекта. Это значит, что путем организации новых обратных связей и исключением действующих обратных связей, а так же изменением их характера действия и точек подключения можно формировать потребные свойства управляемого объекта и устанавливать нужную траекторию его движения. Так, например, если в какой-либо экономической системе начинают лавинообразно развиваться инфляционные процессы, то это свидетельствует о возникновении в ней положительных обратных связей кумулятивного характера. Прекратить развитие такого процесса можно за счет организации новых отрицательных обратных связей компенсирующего типа. На практике эта операция выливается в комплекс серьезных финансово-экономических и социальных мероприятий по сокращению оборотной денежной массы, перераспределению инвестиционных финансовых потоков, снижению уровня централизации управления экономикой и т.п.

1.2. КОНТУР УПРАВЛЕНИЯ

Прямые и обратные связи реализуются в виде контура управления. При построении моделей управления конфликтами это понятие приобретает фундаментальное значение, а потому заслуживает детального рассмотрения. В простейшем варианте контур управления состоит из четырех компонентов: управляемого объекта (UO), решателя (R), исполнителя (D) и информатора (K), связанных так, как показано на рис. 2.2.

В качестве управляемого объекта в социальных системах рассматриваются производственные, технологические, научные, учебные и другие процессы. Подчеркнем, что в любом случае управляемый объект – это процесс, непосредственно связанный с предназначением данной системы. Поэтому в дальнейшем термины «управляемый объект» и «управляемый процесс» употребляются как синонимы. Исполнителями называются компоненты, основная функция которых состоит в непосредственном воздействии на управляемый объект. Решатели – это компоненты, которые на основе поступающей к ним осведомительной информации (IO) принимают решения и вырабатывают распорядительную информацию (IR). Эта информация в

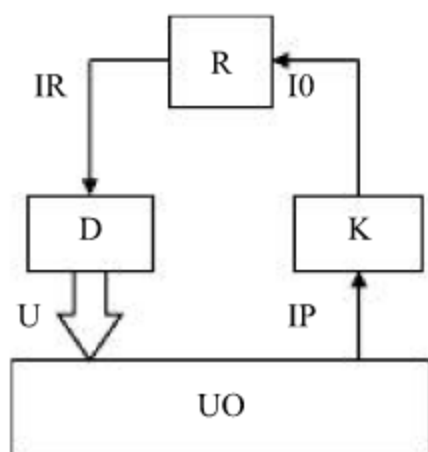


Рис. 2.2. Элементарный контур управления

виде команд и распоряжений доводится до исполнителей и преобразуется в управляющие воздействия (U), которые изменяют состояние управляемого объекта UO согласно принятому решению. Информаторами называются компоненты, основная функция которых состоит в добывании первичной информации о состоянии управляемого объекта (IP), ее обработке и преобразовании в осведомительную информацию, а также в доведении этой информации до решателя.

В зависимости от того, каким образом реализуются связи между его компонентами, контур управления может быть замкнутым или разомкнутым, а управление соответственно – действенным и недейственным. Замкнутый контур реализует управление по состоянию управляемого процесса, то есть управляющий

субъект реагирует на изменения, происходящие в управляемом процессе. В случае разомкнутого контура управляющий субъект может реагировать на все что угодно, только не на состояние управляемого процесса. В социальных системах размыкание контура происходит чаще всего из-за подмены управляемого объекта. По недомыслию или сознательно в качестве такового выбирается не основной процесс, а, например, деятельность подчиненных (исполнителей) или собственные интересы решателя. Такая система «больна», по сути, она неуправляема. Ее временная жизнеспособность обеспечивается или за счет инерционности управляемого процесса, или из-за отсутствия возмущений этого процесса. Как только исчерпываются силы инерции либо возникают достаточно сильные возмущения, такая система претерпевает катастрофу. Для того чтобы предотвратить катастрофу, требуется перестройка ее морфологии в направлении замыкания контура управления. В социальных и экономических системах это всегда трудный и болезненный процесс, связанный с заменой старого управленческого аппарата на новый, но не любой, а способный вывести систему из структурного кризиса.

Помимо крайних (контур управления замкнут или разомкнут), возможны многочисленные промежуточные варианты, когда управляющий субъект реагирует не на все, а лишь на некоторые из возможных состояний управляемого процесса. В этих случаях говорят, что такая система ограниченно управляемая, а управление в ней будет ограниченно действенным. Причинами, ограничивающими управляемость, могут быть:

- неполнота первичной или недостоверность осведомительной информации о состоянии управляемого процесса (плохо работает информатор);
- неадекватность решений по управлению процессом его реальному состоянию (плохо работает решатель);
- невосприимчивость исполнителя к распоряжениям решателя и недоступность некоторых параметров управляемого процесса для регулирования (плохо работает исполнитель);
- недопустимо большие задержки во времени реагирования системы на изменения, происходящие в управляемом процессе (плохо организованы информационные коммуникации между информатором, решателем и исполнителем, или все они работают слишком медленно).

Ограниченная управляемость может быть выгодна некоторым компонентам системы управления (например, тем, кто, находясь в системе, сознательно преследует в основном свои частные цели). В любом своем варианте ограниченная управляемость негативно сказывается на эффективности функционирования системы в целом. Попадая в сферу действия социального или экономического конфликта, системы с ограниченной управляемостью не способны выдержать конкуренцию со стороны систем с более высокой управляемостью, а потому часто претерпевают катастрофу или гибнут.

В связи со сказанным можно сформулировать следующее утверждение: любая система стремится в процессе своего функционирования обрести морфологию с максимально замкнутыми контурами управления. Не следует, однако, слишком упрощенно понимать это утверждение. Им выражается организационная тенденция, которая далеко не всегда воплощается в конечном результате, поскольку может быть замаскирована или парализована другими тенденциями, вытекающими из конкретных условий.

1.3. ЦЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ

В понятийной структуре кибернетической теории управления понятие «цель управления» рассматривается как составная часть более общего понятия «задача управления» (Z):

$$Z = \langle Ц, В, М, С, Р \rangle, \quad (2.1)$$

где $Ц$ – цель управления, то есть желаемый результат управления; $В$ – интервал времени, в течение которого осуществляется управления; $М$ – место, где осуществляется управление; $С$ – способ, с помощью которого реализуется управление; $Р$ – ресурс, необходимый для реализации управления.

Из (2.1) следует, что задача управления определена, если заданы все ее компоненты. В противном случае, когда не установлен какой-либо один или не задано несколько компонентов, задача считается неопределенной. Соответственно различают целевую, временную, пространственную, технологическую и ресурсную неопределенности, а также их комбинации.

Рассмотрим некоторые возможности формализации понятия цели, имеющей зону неопределенности (область неполного дос-

тижения желаемого результата), в предположении, что все остальные компоненты (2.1) определены и неизменны [12].

В этом случае цель может задаваться вектором ε в некотором n -мерном пространстве параметров $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n$, которое имеет внешние границы ξ_{OG} , за пределами которых цель не достигается, и внутренние границы ξ_{BG} , выделяющие зону упорядоченности, в которой с допустимой точностью ω цель достигается (рис.2.3). Между границами ξ_{BG} и ξ_{OG} находится размытая область, где цель достигается частично.

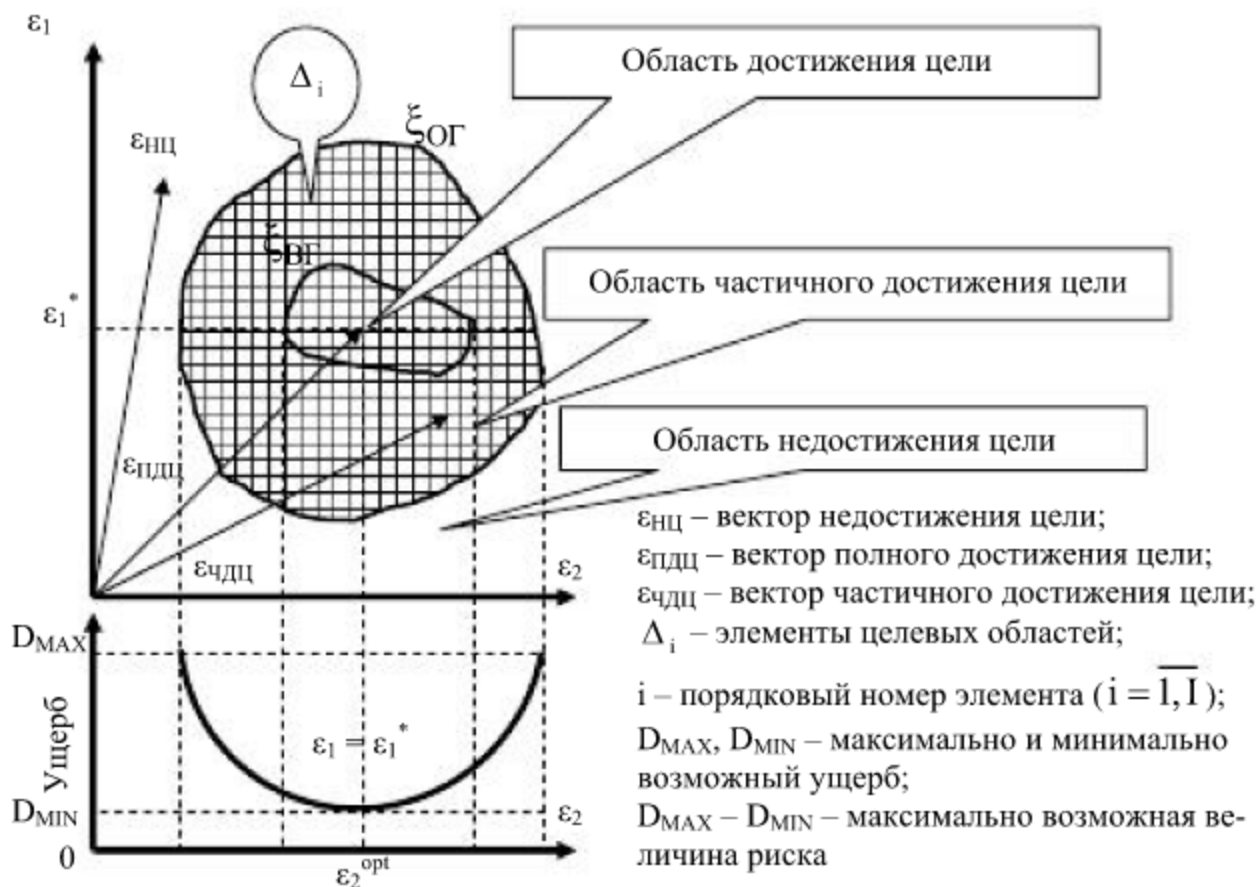


Рис. 2.3. Формализация понятия цели для случая двухмерного пространства параметров

Все целевое пространство можно разбить на множество различных элементов Δ . Причем различимость элементов будем считать *потенциальной* (пространство элемента Δ^n), если она определяется, исходя из предельных возможностей оценок и действующей помехи, и *практической* (пространство элемента Δ , при этом обычно имеет место $\Delta \geq \Delta^n$), если она обуславливается требованиями решаемой задачи и возможностями используемых методик и технологий.

Разбив целевое пространство на элементы Δ , будем считать, что если вектор ε , характеризующий целевое функционирование системы, находится в каком-либо элементе Δ_j внутри $\xi_{\text{ВГ}}$, то функционирование системы будет оптимальным в некотором смысле (последнее считается заранее установленным). Если вектор ε находится в элементе Δ_i , внутри области частичного достижения цели, то функционирование системы будет иметь несколько худшее качество по отношению к оптимальному, то есть будет иметь место определенный ущерб в качестве функционирования системы. Этот ущерб будет определяться весом (тяжестью) ущерба U_{ki} , который зависит от положения i -го элемента в пространстве цели и длительности нахождения в Δ_i , причем ущербом может быть:

- а) детерминированная величина потери U_{ki} в единицу времени;
- б) вероятностная величина риска $U_{ki} = U_k p_i$, где p_i – вероятность появления события, при котором возникает потеря величиной U_k ;
- в) вероятность невыполнения системой некоторых заданных функций.

Обобщенным показателем, характеризующим степень недостижения цели, является целевая неопределенность (N), которую в общем виде можно представить выражением

$$N = \bigcup_1^n f(q_i, \zeta(\varepsilon_i), p_i), \quad (2.2)$$

где q_i – удаленность элемента Δ_i от центра цели; $\zeta(\varepsilon_i)$ – расстояния от центра до $\xi_{\text{ВГ}}$, измеряемые по линии, соединяющей центр с элементом Δ_i ; p_i – вероятности попадания изображающей точки системы в элемент Δ_i .

В этом выражении важную смысловую нагрузку несут: функция и объединения реализаций на заданном этапе функционирования по всему множеству элементов области цели от Δ_1 до Δ_n и функция f приведения рассогласования, определенная на уровне рассматриваемой цели к вышележащим целям. Последнее позволяет характеризовать влияние недостижимости рассматриваемой цели на изменение степени неопределенности вышележащей цели (в какой-то степени это аналогично приведению ущерба на уровне рассматриваемой цели к вышележащим целям).

Если взять в качестве параметра только априорную вероятность выборки (p_i), то для оценки целевой неопределенности можно использовать выражение

$$N = \frac{1}{\log 1/n} \sum_1^n p_i \log p_i. \quad (2.3)$$

Помимо целевой неопределенности нас будет интересовать ориентация векторов целей. Рассмотрим два субъекта, каждый из которых имеет свой вектор цели ε_1 , ε_2 с соответствующим уровнем неорганизованности. Будем полагать, что субъекты при достижении своих целей опираются на общий ресурс, то есть достижение цели одним из субъектов, так или иначе, влияет на достижение цели другим субъектом, и наоборот. Тогда возможны варианты взаимной целевой ориентации, представленные на рис. 2.4, где кружками обозначены области целевой неопределенности.

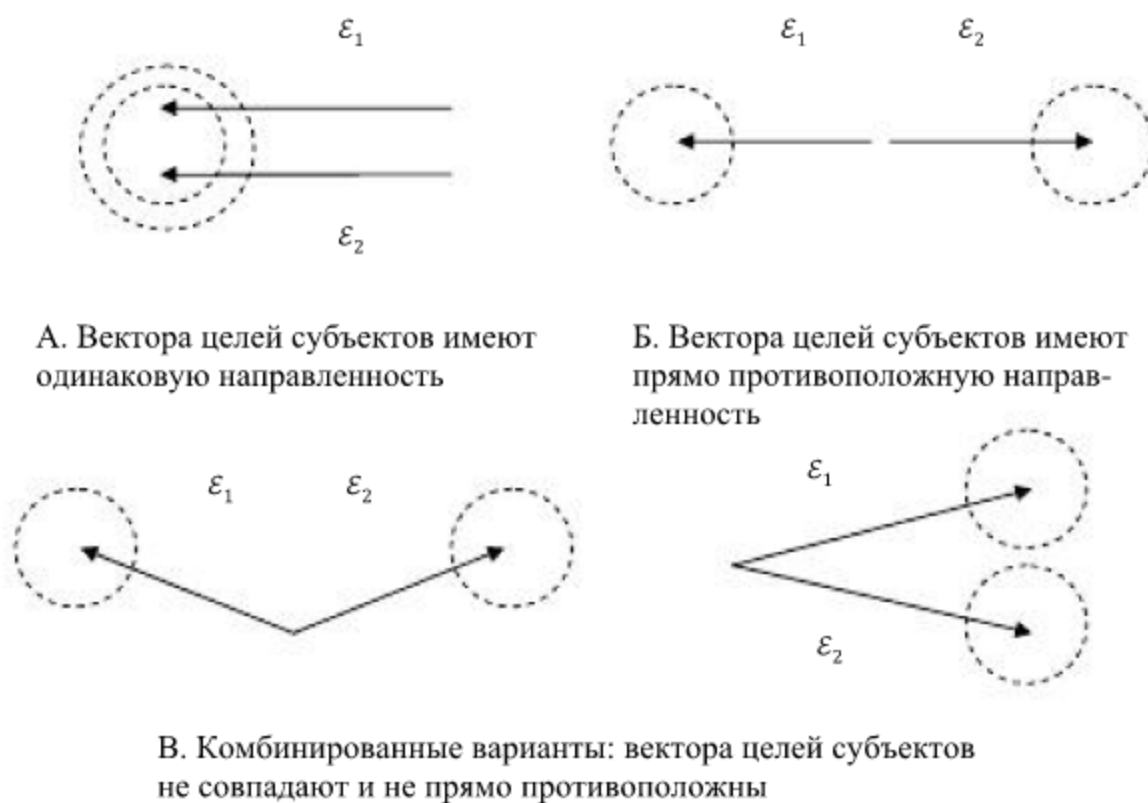


Рис. 2.4. Варианты взаимной целевой ориентации двух субъектов

Вариант, когда вектора целей субъектов имеют прямо противоположную направленность, назовем ситуацией противодействия, а вариант, когда вектора целей субъектов имеют одинаковую направленность – ситуацией содействия. В случае комбиниро-

ванных вариантов, в той или иной мере, имеют место как элементы содействия, так и противодействия.

Очевидно, что целевая ориентация, характеризуя в какой-то мере взаимосвязь субъектов, не позволяет строго формально определить типы взаимоотношений между ними. Помимо ориентации необходимо учитывать зависимость между абсолютными величинами векторов цели. Для этого введем в рассмотрение модули векторов ε_1 и ε_2 обозначив их E_1 и E_2 соответственно, а для отражения их взаимосвязанности – функции $f_1 = E_1(E_2)$ и $f_2 = E_2(E_1)$. Тогда, при $(\delta E_1(E_2) / \delta E_2(E_1) < 0) \wedge (\delta E_2(E_1) / \delta E_1(E_2) < 0)$, где δ – функциональная (вариационная) производная, имеем ситуацию противоборства, при $(\delta E_1(E_2) / \delta E_2(E_1) > 0) \wedge (\delta E_2(E_1) / \delta E_1(E_2) > 0)$ – ситуацию содействия, при $[(\delta E_1(E_2) / \delta E_2(E_1) > 0) \wedge (\delta E_2(E_1) / \delta E_1(E_2) < 0)] \vee [(\delta E_1(E_2) / \delta E_2(E_1) < 0) \wedge (\delta E_2(E_1) / \delta E_1(E_2) > 0)]$ – эксплуатации, при $(\delta E_1(E_2) / \delta E_2(E_1) = 0) \wedge (\delta E_2(E_1) / \delta E_1(E_2) = 0)$ – нейтралитета.

Графическая иллюстрация формальной трактовки указанных типов взаимодействий приведена на рис. 2.5-2.8.

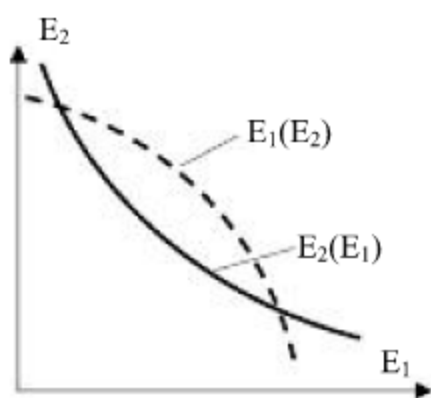


Рис. 2.5. Противодействие

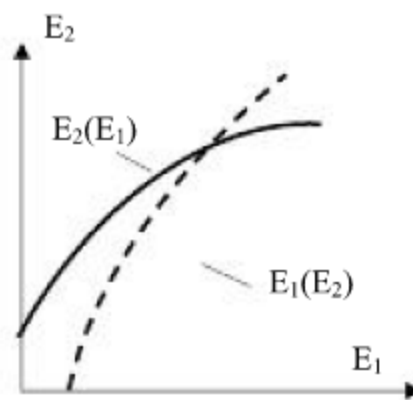


Рис. 2.6. Содействие

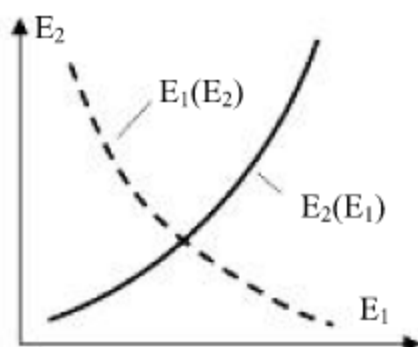


Рис. 2.7. Эксплуатация

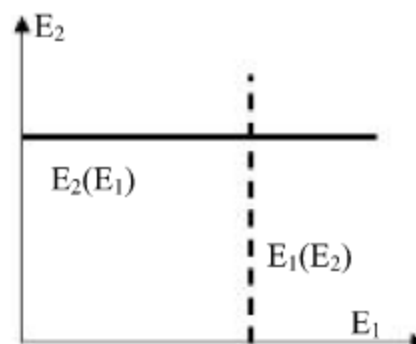


Рис. 2.8. Нейтралитет

Из анализа этих графиков можно сделать следующие выводы. Во-первых, ситуации взаимодействия (прежде всего, противодействия и эксплуатации) характерны тем, что в них не представляется возможным корректно определить понятие целевой оптимальности ее традиционном понимании (от лат. *optimum* – наилучшее). Речь может идти только о поиске некоторой точки (области) компромисса или равновесия, устраивающей в той или иной мере обе стороны.

Во-вторых, из-за взаимозависимости эффективностей взаимодействующих сторон требуемое или желаемое повышение собственной эффективности может достигаться как за счет снижения, так и повышения эффективности противостоящей стороны. При этом важно учитывать, что «вредное» или «полезное» повышение эффективности противника (конкурента) может обгонять по темпу повышение собственной эффективности, то есть в любой из форм противодействия и эксплуатации может оказаться более полезным для выигрыша не повышение, а снижение собственной эффективности.

ГЛАВА 2. КОНЦЕПЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ КОНФЛИКТАМИ

2.1. ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ КОНФЛИКТАМИ

Этому управлению присущи специфические особенности, выходящие за рамки традиционной аксиоматики составляющей методологическую основу классической теории оптимального управления. Рассмотрим эти особенности.

Первая особенность состоит в том, что в случае управления конфликтами имеется как минимум два управляющих субъекта, каждый из которых, воздействуя на один и тот же управляемый процесс (или взаимосвязанные процессы), преследует свои в общем случае несовпадающие, а зачастую и прямо противоположные (взаимоисключающие) цели. Поэтому, то, что выгодно одной стороне, может быть совершенно неприемлемо для другой, и задача управления заключается уже не в поиске оптимума, а в нахождении некоего компромисса, плохо или хорошо, но устраивающего обе стороны (при отсутствии антагонизма), или в изыскании способов победы над противником (в случае антагонизма). Таким образом, исходным положением развиваемого подхо-

да к исследованию проблемы управления конфликтами является то, что этот процесс не может быть корректно сведен к модели классического или ситуационного управления.

Вторая особенность управления конфликтами заключается в том, что управляемый процесс является нелинейным и необратимым. В конфликтных процессах на фоне внешних возмущений $\xi(t)$, действуют как отрицательные, так и положительные обратные связи, которые одновременно стабилизируют и дестабилизируют движение процесса, делая его скачкообразным и необратимым. Традиционное линейное приближение в этом случае неприемлемо, а следовательно, становится затруднительным применять классические методы теории автоматического регулирования для построения моделей управления конфликтами.

Третья особенность выражается в том, что управление конфликтами всегда происходит в условиях неполной, а то и заведомо искаженной информации относительно намерений и поведения противостоящей стороны. Замена неизвестного случайным здесь непригодна, поскольку решающее влияние на развитие процесса оказывают не внешние возмущения, а взаимная рефлексия, дезинформация, стремление навязать противнику свою волю, умение разумно рисковать и другие далеко не случайные, а целенаправленные и преднамеренные факторы. В конфликтах управляющие субъекты влияют не только на управляемый процесс, но и оказывают специфические воздействия друг на друга посредством нарушения линий прямого управления, каналов обратной связи или просто уничтожая информационно значимые объекты у противостоящей стороны. Иными словами, управление в конфликтах приобретает аномальный характер. В связи с этим далеко не всегда удастся выписать задачу управления конфликтами в терминах классической теории управления и разрешить ее традиционными методами, в частности, программными, программно-целевыми, адаптивными, ситуационными.

Четвертая особенность состоит в том, что управление конфликтными процессами носит многослойный многоуровневый характер. Так, например, управление предприятием в условиях конкуренции может рассматриваться с различных точек зрения: экономической, информационной, технической, технологической и других. В свою очередь, в каждом из указанных слоев существует своя иерархия управления, в которой существуют связи вза-

имного влияния. Результатом проявления этих связей могут быть ситуации, когда локальные оптимальные управления даже при отсутствии противодействия оказываются далеко не лучшими в целом. Возникает проблема координации, которая существенно усложняет управление конфликтными процессами.

Пятая особенность управления конфликтами заключается в его многоконтурности и взаимной связанности контуров управления. Если в обычном (неконфликтном) случае присутствует один тип контура управления, образованный прямыми и обратными связями между подсистемой управления и управляемым процессом, то даже в простейшем двухстороннем конфликте присутствует как минимум четыре контура управления: управляющий субъект первой стороны – управляемый процесс; управляющий субъект второй стороны – управляемый процесс; управляющий субъект первой (второй) стороны – управляющий субъект второй (первой) стороны. Причем эти контуры взаимосвязаны как через управляемый процесс, так и непосредственно. Наличие указанных контуров управления и их взаимосвязанность образуют уникальное своеобразие конфликтного управления и одновременно обуславливают методологические трудности его изучения. Исследования показывают, что построение адекватной модели и анализ даже одного реального контура управления представляет собой весьма непростую задачу. При анализе же нескольких взаимосвязанных контуров трудности возрастают многократно, усугубляясь тем, что реальным конфликтам свойственно многообразие форм и способов управления в каждом из рассмотренных контуров.

2.2. СТРУКТУРНАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ КОНФЛИКТАМИ

С учетом отмеченных особенностей, структурная модель управления конфликтом (для двухстороннего случая и в простейшем варианте) может быть представлена в виде кортежа:

$$\langle \langle US_1, US_2 \rangle, \langle UO \rangle, \langle V_1, O_1 \rangle, \langle V_2, O_2 \rangle, \\ \langle p_{pu}^{(1)(2)}, p_{os}^{(1)(2)}, p_{up}^1, r^{(1)(2)} \rangle, \langle p_{pu}^{(2)(1)}, p_{os}^{(2)(1)}, p_{up}^2, r^{(2)(1)} \rangle, \\ \langle p_{uu}^1, p_{uu}^2 \rangle, \langle \xi_{kr}, \xi_f \rangle \rangle, \quad (2.4)$$

где US_1, US_2 – управляющие субъекты; UO – управляемый объект (процесс); u_1, u_2 – управления, O_1, O_2 – обратная связь; $p_{pu}^{(1)(2)}$,

$p_{pu}^{(2)(1)}$ – воздействия управляющих субъектов друг на друга с целью нарушения прямого управления; $p_{os}^{(1)(2)}$, $p_{os}^{(2)(1)}$ – воздействия одной управляющих субъектов друг на друга с целью нарушения обратных связей; $p_{up}^{(1)(2)}$, $p_{up}^{(2)(1)}$ – непосредственные воздействия управляющих субъектов друг на друга с целью снижения качества управления; $r^{(1)(2)}$, $r^{(2)(1)}$ – взаимная разведка намерений и действий противостоящих сторон; p_{uu}^1 , p_{uu}^2 – воздействия управляющих субъектов самих на себя с целью повышения качества своего управления; ξ_{kr} – внешние целевые возмущения, стремящиеся перевести управляемый процесс в кризисное состояние; ξ_f – внешние фоновые возмущения, то есть внешние воздействия не имеющие целевой направленности, но влияющие на развитие управляемого процесса.

Заметим, что в реальных конфликтах воздействия сторон друг на друга могут быть как физическими, так и информационными. Так, например, $p_{up}^{(1)(2)}$ и $p_{up}^{(2)(1)}$ могут осуществляться как в форме физического устранения в противостоящей подсистеме управления информационно значимых субъектов, так и путем их дезинформации. Воздействия p_{uu}^1 и p_{uu}^2 могут осуществляться в форме модификации структуры управленческих органов, сокращения численности управленческого персонала, изменения функциональных обязанностей и других организационно-штатных мероприятий, способствующих повышению качества управления. Вместе с тем, не исключены случаи, когда воздействия p_{uu}^1 и p_{uu}^2 направляются в другую сторону: это ситуации преднамеренного усиления конфликта с целью банкротства, например, предприятия или фирмы. В схематическом изображении кортеж (2.4) представлен на рис. 2.9.

Обратим внимание на то, что на этой схеме помимо традиционных контуров управления «управляющий субъект – управляемый объект» присутствуют контуры управления другого типа, а именно «управляющий субъект одной стороны – управляющий субъект другой стороны». Процессы, происходящие в этих контурах, собственно и образуют взаимное рефлексивное управление в конфликте.

Из этой модели становится очевидным, что классическая кибернетическая модель является частным случаем конфликтного управления. Действительно, если исключить из схемы рис.2.8 какой-либо из управляющих субъектов (US_1 или US_2) вместе с его

связями, то приходим к схеме рис. 2.1, то есть к классической модели кибернетического управления.

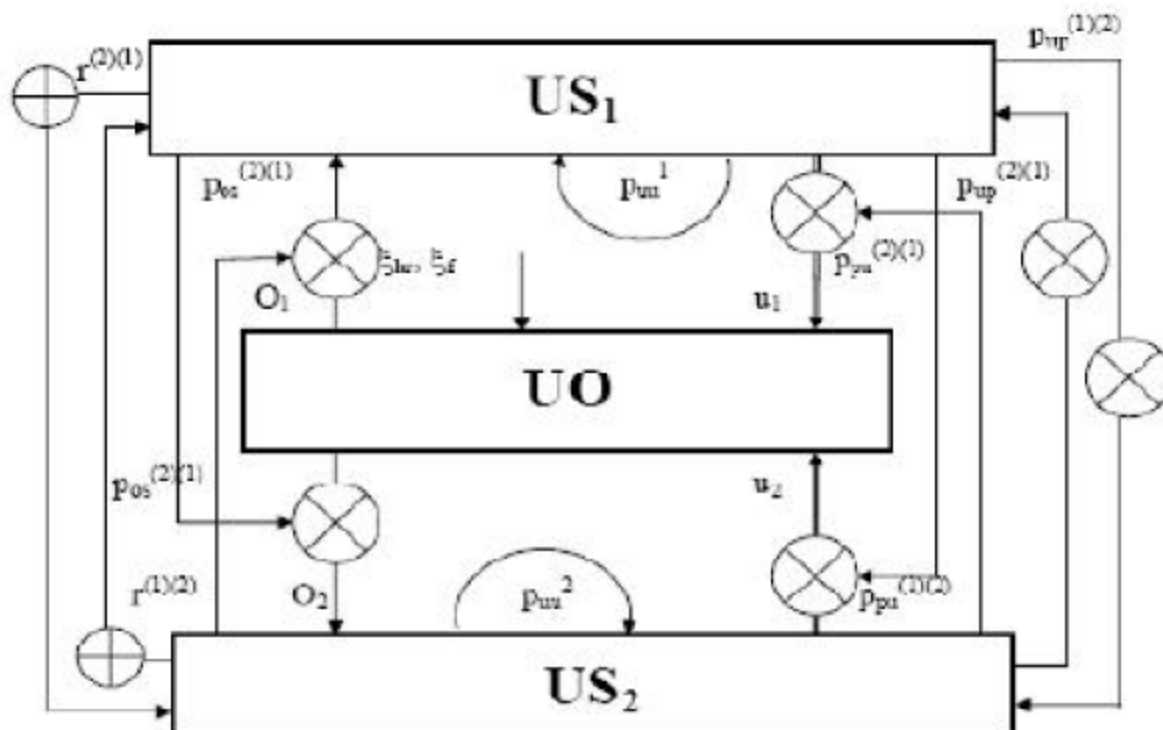


Рис. 2.9. Структурная модель управления конфликтом

2.3. ФОРМЫ УПРАВЛЕНИЯ КОНФЛИКТАМИ

В зависимости от того, что меняется в управляемых процессах, будем различать информационную, функциональную и морфологическую формы управления конфликтами, а также управление развитием и управление предназначением. Причем эти формы свойственны как конфликтному, так и неконфликтному управлению.

Информационное управление или *управление поведением* – это «управление по Винеру», то есть управление, основная цель которого заключается в приведении управляемого конфликтного процесса в желаемое состояние путем передачи информации по прямым и обратным связям.

Функциональное управление или *управление свойствами* – это целенаправленное изменение приемов и методов добывания информации о состоянии управляемого процесса, анализа обстановки, идентификации конфликтной ситуаций и принятия решений о способах воздействия на управляемый конфликтный процесс

Морфологическое управление или управление «устройством», суть которого состоит в изменении состава, структуры и связей между компонентами управляемого процесса и конфликтующими сторонами в интересах достижения поставленных целей.

Управление развитием предполагает целенаправленное поэтапное изменение направления и способов развития морфологии, функций управляемого конфликтного процесса и его динамики на определенном отрезке времени с учетом внешних ограничивающих факторов (экономических, финансовых, политических и др.).

Управление предназначением осуществляется с целью добиться изменения основной функции управляемого процесса, и по существу представляет собой обобщение вышеназванных форм управления конфликтами.

2.4. СПОСОБЫ УПРАВЛЕНИЯ КОНФЛИКТАМИ

В зависимости от механизмов, используемых для реализации управления конфликтами, будем различать подражательный, программный, адаптивный, рефлексивный и координационный способы управления.

Подражательный способ управления основан на заимствовании правил поведения в текущем конфликте. Механизм его достаточно прост, и образно может быть выражен фразой – делай так, как это делали до тебя или делают сейчас другие в аналогичных ситуациях. Способ управления, основанный на подражании, вполне допустим и даже полезен в обычных ситуациях, но крайне опасен в антагонистических конфликтах. Дело в том, что в таких конфликтах не бывает типовых ситуаций. Они могут быть очень схожими, но, тем не менее, различными. Конфликт, в лице его участников, обнаруживает эти различия, выводит на первый план и обращает подражание во вред тому, кто ведет подражательное управление. Тем не менее, системы с подражательным механизмом получили широкое распространение, в том числе и в экономике. Наглядными примерами систем с таким способом управления могут служить многочисленные рынки товаров и услуг, состоящие из множества конкурирующих субъектов, в той или иной мере заимствующих друг у друга приемы и методы ведения

дел. Следует так же учитывать, что подражательный способ управления можно рассматривать как простейшую, но вместе с тем достаточно эффективную форму взаимной рефлексии (сторона «А» копирует действия стороны «Б», и, наоборот, сторона «Б» копирует действия стороны «А»). По этой причине данный способ должен входить в сферу модельного изучения процессов рефлексивного управления.

Программный способ управления заключается в том, что конфликтующие стороны планируют свое поведение в предстоящем конфликте, используя априорную информацию о противнике, своих возможностях и условиях внешней обстановки. Имея план действий, они неукоснительно придерживаются его положений, невзирая на то, что происходит на самом деле. При этом смысл управления сводится к компенсации разного рода внешних и внутренних возмущений, уводящих в сторону от намеченного плана. Это не самый лучший способ управления, обладающий тем очевидным недостатком, что в конфликтных условиях планируемое, как правило, не соответствует реальному прежде всего из-за расхождения априорной и текущей информации о состоянии управляемого процесса и сознательного противодействия со стороны противника. Более того, такое управление опасно, поскольку, если планы становятся известны противнику, то он всегда найдет способ воспользоваться этой информацией в своих интересах. В то же время нельзя отрицать, что планирование оказывает мобилизующее влияние на конфликтующие стороны, способствует сосредоточению усилий на главных направлениях и упорядочивает их деятельность по достижению целей.

Адаптивный способ управления учитывает эти противоречивые факторы и строится на основе гибкого приспособления участников конфликта к складывающимся условиям обстановки. Смысл этого способа управления сводится к тому, что противоборствующие стороны принимают решения и действуют согласно текущей информации о состоянии управляемого процесса, учитывая при этом данные как о противнике, и о своих возможностях. Достоинства такого управления очевидны, а недостатки сводятся к возможностям неверной оценки текущей обстановки и, соответственно, к принятию неадекватных решений, ведущих к негативным последствиям. При практической реализации такого управления в реальных экономических структурах основная тя-

жесть ложиться на подразделения маркетинга, добывающие различными способами информацию о состоянии рынка и действиях конкурентов. Зная это, противостоящая сторона будет предпринимать все меры для того, чтобы нарушить или дезориентировать работу этих подразделений.

Существо *координационного и рефлексивного способов управления* раскрывается в главах 3 и 4 соответственно.

Следует отметить, что в реальных ситуациях указанные способы управления конфликтами не применяются, так сказать, в чистом виде. Как правило, они комплексуются и комбинируются. Это обстоятельство необходимо учитывать при разработке соответствующих моделей управления.

2.5. ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ КОНФЛИКТАМИ

Технологией управления конфликтами будем называть комплекс мероприятий и способов, реализуемых в определенной последовательности и направленных не то, чтобы привести конфликт в желаемое целевое состояние. В зависимости от целей управления будем разделять все технологии на позитивные и негативные. Позитивные технологии имеют своей целью исключить или в максимально возможной мере ослабить деструктивные проявления и негативные последствия конфликтов. Негативные технологии, наоборот, направлены на разжигание конфликтов, на их эскалацию, обострение и, в конечном счете, на приведение противостоящей стороны к ее гибели, разгрому, дезорганизации, банкротству. Далее будут рассматриваться только позитивные технологии.

Антиконфликтные технологии направлены на приведение конфликтных процессов в устойчивое состояние (нейтрализм, содействие или приемлемую эксплуатацию) без прохождения ими естественных стадий развития. В общем случае такие технологии предусматривают ликвидацию условий, стимулирующих возникновение конфликтных ситуаций, то есть устранение источников конфликта – ресурсного дефицита. Как уже отмечалось, ликвидировать источники конфликта в принципе невозможно. Однако это не означает, что нельзя исключить конкретные обстоятельства, которые влекут за собой возникновение конфликтных ситуаций. Речь идет о так называемых субъективных причинах, обуславли-

вающих возникновение конфликтов, а также о том, что на ранних стадиях всегда существует возможность их отсрочки и принятия мер к приведению процессов в устойчивое состояние. Если говорить о социальных и экономических процессах, то числу фундаментальных способов их приведения к устойчивому состоянию следует отнести:

- объединение экономических, финансовых, энергетических, культурных и других ресурсов сторон, что позволяет за счет синергетического эффекта восполнить и даже превзойти ресурсные потребности общества;

- взаимное дополнение недостающими ресурсами, прежде всего за счет открытия границ и ускоренного развития информационной, энергетической и вещественной коммуникаций;

- совместное изыскание новых ресурсов, необходимых обществу для существования и развития.

Реализация этих способов возможна при условии коллективного осознания того, что независимо от поведения людей конфликты все равно «заставят» изыскивать материальные, информационные, моральные, властные и другие ресурсы мирным путем. Однако, как свидетельствует история, путь к миру проходит через многочисленные жертвы и разрушения, которые неизбежны до тех пор, пока человек не убедится в бесплодности конфронтации и силового противоборства.

Антиконфронтационные технологии препятствуют эскалации конфликтов (перерастанию конфликтной ситуации в латентную стадию) путем ликвидации условий и факторов, ведущих к образованию конфронтационных образований. Основная цель этих технологий заключается в создании условий, позволяющих перевести взаимоотношения сторон из конфликтной ситуации в нейтральное, содействующее или эксплуатирующее состояние, минуя латентную стадию, кризис и тем более катастрофу. Существует достаточно много способов и приемов практической реализации таких технологий, например, для социальных процессов это: создание общественных механизмов для проведения консультаций, переговоров, поиска общих интересов; законодательное запрещение организаций проповедующих свержение конституционного строя или разжигающих межнациональную рознь. В хозяйственных конфликтах такие технологии воплощаются в жизнь штатными юридическими службами предприятий, в обя-

занность которых, в частности, входит подготовка договорных документов, исключающих спорные вопросы в процессе их выполнения. Снятию конфронтации способствуют предварительные юридические консультации лиц, собирающихся вступить в договорные хозяйственные и производственные отношения, например, по совместному строительству жилья. Юридически правильно оформленные договорные обязательства, даже в случае их нарушения сторонами, как правило, снижают уровень конфронтационного настроения противников и зачастую позволяют не доводить дело до кризиса – судебного разбирательства.

Антикризисные технологии направлены на предотвращение кризисных явлений в развитии конфликтов и создание условий для перехода конфликтного процесса из латентной стадии в какое-либо из нормальных состояний, например в содействие, нейтралитет или в какую-либо приемлемую форму эксплуатации без вхождения в кризис. Иными словами, антикризисная технология – это комплекс мер, противодействующих возникновению кризисов, то есть резких переломов, качественных скачков в развитии конфликта. Так, например, применительно к находящейся в депрессии экономической системе это означает, что антикризисная технология предназначена как для предотвращения качественных изменений к еще худшему, так и качественных изменений к лучшему – то есть направлена на консервацию существующего положения. Практикой выработаны различные способы исключения кризисного развития социальных процессов, здесь и переговорные механизмы и учет исторического опыта, но, по видимому, наиболее эффективными являются способы, в основе которых лежит перевод социальных конфликтов в юридическую плоскость, то есть задействование правовой базы и правовых институтов. Во многих демократических странах, в том числе и в Российской Федерации, предусмотрены специальные антикризисные законодательные акты. К их числу, в частности, относятся законы, регламентирующие демонстрации, митинги, забастовки.

Но, что делать, если система уже находится в состоянии кризиса? В этом случае необходимо применять специальные технологии управления. Рассмотрим один из возможных подходов к решению этой проблемы.

Кризисные и лизисные технологии. Рассмотрение начнем с определения понятий «кризис» и «лизис». Как уже отмечалось,

кризис – это перелом, быстрое, скачкообразное изменение состояния системы или течения процесса. Само изменение может быть любым – как «от хорошего к плохому», так и «от плохого к хорошему». Противоположность кризиса – лизис. Это тоже изменение состояния или течения процесса, но не скачкообразное, а постепенное, плавное. Если обратиться к философским категориям, то кризис – это качественное изменение, качественный скачок, а лизис – количественное изменение, не затрагивающее качество. С формальной точки зрения лизис – это как бы «размазанный по времени» кризис, а кризис – это как бы «спрессованный в точку» лизис.

Любая система со сколь угодно большим числом параметров, в каждый момент времени может быть описана некой матрицей – а точнее, тензором. Обозначим его s – «состояние». Функция от состояния и времени – «ситуация». Обозначим ее через S , то есть $S = F(s, t)$, где t – время.

Производная от ситуации – «тенденция»: $T = dS/dt$. Производная от тенденции, как и любая производная, есть скорость ее изменения $V = dT/dt$. Разумеется, скорость тенденции есть вторая производная (ускорение) ситуации, т.е. $V = d^2S/dt^2$. Но, поскольку при анализе конфликтного процесса, с которым приходится иметь дело в кризисной практике – это тенденция, то именно T берется за аргумент, а ситуация S и состояние s за заданный интервал времени $[t_0, t_1]$ рассматривается как результат тенденции,

то есть $S = \int T dt$, $s = \int_{t_0}^{t_1} T dt$. Вторая производная от тенденции T

– это, как и любая вторая производная, есть ускорение (т.е. ускорение тенденции): $\alpha = dV/dt = d^2T/dt^2$.

Таким образом, лизис – медленное или быстрое, но плавное изменение скорости процессов V или, что то же, ускорение процесса. Кризис же – точка разрыва первого рода, то есть скачкообразное изменение переменной V – скорости тенденции, или неопределенное значение ускорения α . Только в таких точках переменная T может скачком поменять свой знак с «+» на «–» или наоборот. Во всех остальных случаях прежние процессы должны быть сначала заторможены (до $V = 0$), и только затем можно постепенно раскручивать другие, нужные процессы в необходимом

направлении. Соответственно понятиям «кризис» и «лизис», можно выделить кризисные и лизисные технологии.

Кризисная технология – это комплекс мер, предусматривающих быстрые, скачкообразные изменения обстановки с целью прекращения прежних и запуска новых политических, экономических и других процессов. Иначе говоря, кризисная технология – это программа намеренного создания «кризиса» в смысле «перелома». Если программа делается для себя, то направление перелома, разумеется, положительное, а если для противников (конкурентов) – то отрицательное. Наглядным аналогом кризисной технологии может служить технология тушения лесного пожара путем запуска встречного пожара.

Отметим основные особенности кризисных технологий, существенные с точки зрения их практической реализации.

Первая особенность – быстрота перехода от одних тенденций к другим. Так, перейти от депрессии к подъему производства в масштабах предприятия или производственного объединения можно если не за месяц-два, то по крайней мере за три-четыре месяца (подчеркнем, что речь, разумеется, идет не об объемах производства, а лишь о тенденциях). Вторая особенность – качественный характер изменений, влекущий за собой надежность и устойчивость результатов. То есть, если в результате кризисного мероприятия достигнут рост производства, то можно быть уверенным, что он не прекратится через месяц-два и не сменится падением. Следствием быстроты и качественного характера изменений является необратимость проводимых мероприятий. С одной стороны, это недостаток – как только мероприятия проведены, вернуть ситуацию обратно либо очень трудно, либо невозможно. Но с другой стороны, это же – и достоинство. Если что-то сделано, то можно быть уверенным – сделано надежно. Третья особенность – кризисные технологии обычно запускают процессы очень большой скорости. Это достоинство: если рост – так уж рост, но это же и недостаток: если падение – так уж падение. Четвертая особенность – кризисные технологии не очень чувствительны к ресурсам: временным, информационным, финансовым и другим, в том смысле, что, будучи короткими по своей продолжительности, они опираются в основном на имеющиеся или близлежащие ресурсы. Пятая особенность – кризисная технология принципиально требует единого замысла и единого плана.

Она должна разрабатываться и проводиться в жизнь единой командой под централизованным руководством специалиста по управлению кризисами (так называемого «кризисника» – не путать с «антикризисным управляющим», это разные профессии). Поясним на аналогии с хирургией. У операционного стола не может стоять несколько бригад хирургов, каждая из которых проводит операцию по своему собственному плану и притом конкурирует друг с другом, чей подход правильнее. Планирование хирургической операции не может быть поручено одному хирургу, а выполнение – другому. Исход для пациента в обоих случаях один – летальный. Шестая особенность – кризисные технологии всегда уникальны в том смысле, что выработанный комплекс мер характерен только для данного и никакого другого кризиса. Попытки подражательства здесь не только неуместны, но и вредны. Поэтому практическая реализация любой кризисной технологии требует не только сильной политической воли, но и готовности идти на нестандартные не апробированные шаги. Седьмая особенность кризисных технологий заключается в том, что они негативно воспринимаются общественностью вне зависимости от их направленности. Дело в том, что новейшая российская история не знает положительных кризисов, то есть быстрых качественных изменений к лучшему. Все последние кризисы были только отрицательными. Поэтому уже сама постановка вопроса о решительных мерах, направленных на быстрое качественное изменение обстановки, вызывает ассоциацию с известной шоковой терапией конца 1991 – начала 1992 годов.

Лизисная технология – это комплекс мер, предусматривающих плавные, постепенные изменения обстановки, которые столь же плавно тормозят прежние и, плавно, запускают новые процессы. Эта плавность и есть основное отличие лизисной технологии от кризисной, а по своим целям и задачам они идентичны. Лизисные технологии, как правило, достаточно хорошо типизируются, и по своей сути представляют собой комбинацию известных ранее апробированных мер, подстроенных под конкретную проблему. Поэтому решиться на реализацию такой технологии гораздо легче, чем кризисной. Лизисные технологии по природе не только весьма продолжительны по сравнению с кризисными, но и обратимы на любом этапе их воплощения. С одной стороны – это достоинство, поскольку существует возможность исправить

допущенные ошибки (что невозможно в случае кризисных технологий), а с другой стороны – недостаток, прежде всего, из-за ресурсных ограничений по времени. Длительные сроки ведут к неустойчивости лизисных технологий, поскольку за период их реализации могут существенно измениться условия внешней обстановки. А если за это время произойдет внешний или внутренний кризис, меняющий ситуацию (как, например, азиатский фондовый обвал в 1998 году) – тогда лизисная технология, рассчитанная на прежние условия, «поплывет» и ее придется заменять. Собственно говоря, именно эта неустойчивость наблюдается в нашей повседневной жизни: экономическое падение заходит глубже, чем прогнозировалось; стагнация происходит дольше, чем хотелось бы; положительные тенденции развиваются медленнее, чем ожидалось, а наметившиеся тенденции к улучшению уровня жизни компенсируются разного рода поборами (повышением тарифов на коммунальные услуги, автогражданкой и т.п.).

Выбор типа технологии. Если не учитывать ресурсных ограничений, то одна и та же цель теоретически может быть достигнута с помощью технологии как кризисного, так и лизисного типа. Поэтому первое, что необходимо сделать – это определить тип будущей технологии преодоления кризиса. От этого выбора зависит практическое наполнение технологии, и хотя цели могут оставаться одинаковым, но мероприятия, при помощи которых они достигаются, получаются различными. Соответственно разнятся сроки, взаимосвязи и остальные параметры планируемых мероприятий. Разумеется, реальные технологии выхода из кризиса в своем практическом воплощении – комбинированные. В них кризисные и лизисные части чередуются по целям, времени, направлениям и способам действий. Здесь важно определиться с первым шагом, при помощи которого делается переход от депрессии к тенденции роста. Если этот шаг кризисный, то вся технология относится к кризисному типу, даже если последующие меры чисто лизисные. Если же первое изменение планируется сделать лизисными методами, то вся технология относится к лизисному типу, даже в том случае, если далее планируются кризисные переломы. Обязательное требование к первому изменению – оно может быть небольшим, но непременно должно быть положительным, причем как при лизисном, так и при кризисном подходе. Иными словами, начинать практическое воплощение

любой технологии выхода из кризиса с отрицательного результата нельзя ни при каких условиях.

Итак, выбор кризисной технологии переломного типа означает, что: гарантируется достижение расчетных результатов (разумеется, при корректных расчетах); первые последствия проявятся достаточно быстро; риск в том, что допущенные ошибки исправить достаточно трудно. Выбор лизисной технологии плавного типа означает, что: любые ошибки могут быть исправлены; даже самые первые результаты будут ощутимы не сразу; риск в том, что достижение результатов не гарантируется, так как в процессе реализации технологии могут произойти неожиданные внешние события, делающие программу невыполнимой.

Антикатаклические технологии реализуются с целью предотвратить перерастание кризисов (революций, мятежей, путчей и т.п.) в социальные и экономические катастрофы и катаклизмы. В нашей стране практика применения таких технологий невелика, поскольку господствующая ранее идеология базировалась на прямо противоположных технологиях. В результате всем хорошо известно как, пользуясь революционным порывом масс, можно развалить социальную или экономическую систему и на ее месте построить тоталитаризм или монополизм. Но пока мало изученными остаются проблемы, каким образом после кризисов следует воссоздавать эффективные общественные и экономические структуры на основе принципов социальной демократии, справедливости, цивилизованной рыночной конкуренции и неантагонистической эксплуатации.

Вместе с тем, в настоящее время ведутся работы по решению этих проблем. В частности, в [30] показано, что в условиях конфликта типа «неантагонистическая эксплуатация» существует диапазон параметров, определяющих взаимоотношения конфликтующих субъектов (хотя и достаточно узкий), в котором возможно их устойчивое развитие без взаимного вытеснения или поглощения. При этом характер развития такого конфликта в существенной мере зависит от поведения субъекта-эксплуататора. Чрезмерный ничем неограниченный рост его эффективности приводит к дестабилизации процесса, а относительная устойчивость обеспечивается лишь в том случае, когда субъект-эксплуататор обладает способностью к адаптации по отношению к текущему состоянию эксплуатируемых субъектов. В частности, система бу-

дет более жизнеспособна, если субъект-эксплуататор уменьшает свое давление на эксплуатируемые субъекты при снижении эффективности их функционирования, предоставляя им возможность свободно развиваться и наращивать свой потенциал. В противном случае эксплуатируемые субъекты разоряются и претерпевают банкротство, что, в свою очередь, отрицательно сказывается на субъекте-эксплуататоре. Он, теряя источники своего существования, либо разоряется, либо вынужден расширять сферу своей деятельности (изыскивать новых эксплуатируемых субъектов), либо менять свои взаимоотношения с партнерами по бизнесу или политике.

Что касается конфликтов типа «цивилизованная конкуренция», то в этой же работе методами математического моделирования показано: действительно существуют условия, при соблюдении которых конкуренция в экономических системах может принимать равновесные формы, когда происходит развитие всех хозяйствующих субъектов без вытеснения слабых в экономическом отношении субъектов более сильными. Технологии предотвращения катаклизмов важны не только в политике и экономике, но и в таких сферах как производство, быт. Важную роль здесь играет гражданское, уголовное и административное судопроизводство, а также арбитражный процесс, в совокупности выступающее правовой формой мирного разрешения кризисов без катастроф, выработанной многовековой человеческой практикой.

Антигибельные технологии преследуют цель не допустить разрушения системы, после того как с ней произошла катастрофа, путем создания условий для ее выхода из катастрофического состояния без летального исхода. Они основываются на том положении, что если в результате кризиса система потерпела катастрофу, то это вовсе не означает, что она должна погибнуть. Например, после перенесенного инфаркта миокарда (кризиса болезни) человек вовсе не обязан уйти в мир иной. В современной медицине существует достаточно много способов, позволяющих вывести больного из этого кризиса и даже восстановить его прежнюю работоспособность. Примерно тоже происходит с социальной или экономической системой – после катастрофы можно восстановить ее функциональность, если на то существует добрая воля образующих ее субъектов, и они умеют это делать.

Применительно к двум последним технологиям невозможно выработать универсальных способов и приемов их гарантированной реализации, поскольку каждый кризис и каждая катастрофа представляют собой уникальные (неповторяющиеся в точной копии) явления. Вместе с тем можно высказать некоторую обобщенную концепцию: выход из структурного или системного кризиса без катастрофы возможен только в случае нахождения хотя бы временного компромисса между противоборствующими сторонами. Эта концепция вытекает из положения, что в конфликте не существует оптимальных решений, то есть решений удовлетворяющих в полной мере потребности всех сторон. В конфликте можно найти только компромисс, то есть решение проблемы на основе взаимных уступок.

Таким образом, любая позитивная технология управления конфликтами есть ни что иное, как процедура нахождения компромисса между противоречивыми целевыми функциями компонентов, образующих систему, с целью предупреждения (недопущения) конфликтных ситуаций, конфронтации, кризисов, катастроф и вообще неоправданного разрушения социальных и других систем.

Технология комплексного управления конфликтами. Рассмотренные частные технологии позволяют реализовать комплексную технологию управления конфликтами, охватывающий все этапы их развития, принцип построения которой иллюстрируется схемой рис. 2.10. Дополнительные комментарии к этой схеме не требуются, кроме следующего замечания. Поэтапное циклическое управление конфликтом реализуется до тех пор, пока он не перейдет в одно из устойчивых состояний содействия, нейтралитета, эксплуатации или не наступит гибель одного из участников конфликта. В первом случае цель управления считается достигнутой, а выбранные технологии и порядок их применения признаются эффективными. Во втором случае – цель управления не достигается, и избранные технологии управления признаются неэффективными. Организационно такой алгоритм может реализовываться на основе как координационных, так и согласовательных механизмов. При координации конфликтующие стороны создают совместный орган (координатор), наделяя его полномочиями по урегулированию возникших противоречий и конфликтных ситуаций. Основная задача этого органа заключа-

ется в сборе информации о текущем состоянии конфликта, ее анализе и выработке решения, позволяющего найти некий ком-

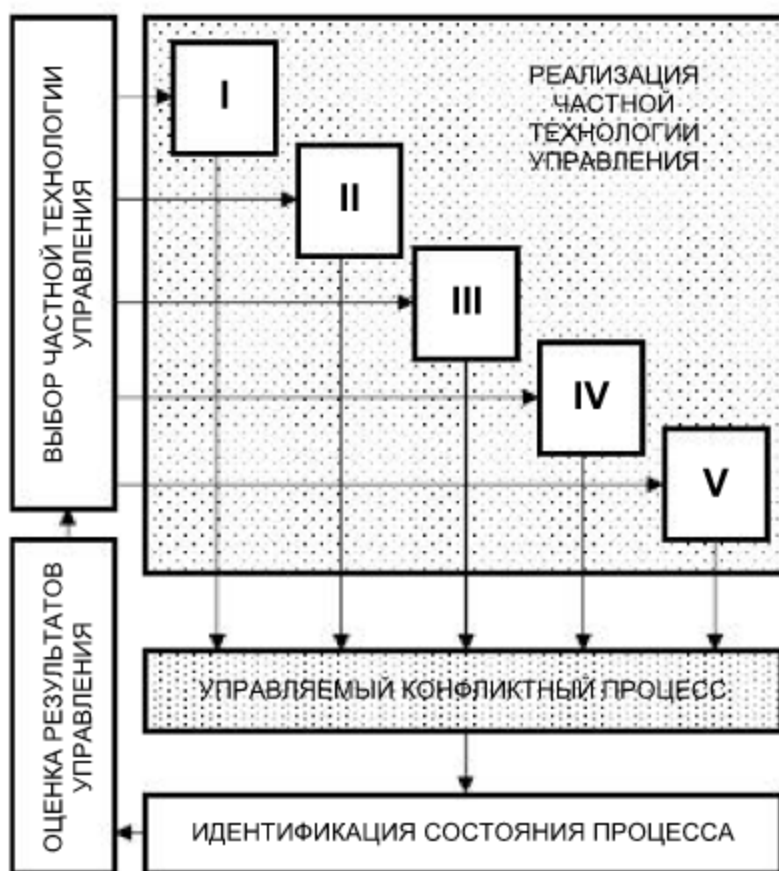


Рис. 2.10. Технология комплексного управления конфликтами: I – антиконфликтная технология; II – антиконфронтационная технология; III – антикризисная технология; IV – антикатаклическая технология; V – антигибельная технология

промисс интересов и тем самым исключить или минимизировать негативные последствия конфликтного процесса. В этом случае технология есть не что иное, как координационное управление конфликтами. Согласовательные механизмы не предполагают создание какого-либо координирующего органа, а все возникающие противоречия разрешаются путем поиска компромисса на основе переговоров.

Реализация технологий управления конфликтами возможна и на основе комбинированных механизмов,

предполагающих сочетание координации и согласования. Здесь возможны различные организационные варианты, в частности, такой, когда стратегические решения принимаются координирующим органом, есть коллегиально, а тактические – вырабатываются сторонами в рабочем порядке на основе согласительных процедур.

2.6. РИСКИ В КОНФЛИКТАХ

Обычно под риском понимается действие наугад, в надежде на счастливую случайность. Такая трактовка риска в конфликтах неприемлема. С конфликтологической точки зрения риск – это связанный с опасностью способ действия, необходимый для того,

чтобы избежать еще большей опасности. Когда степень опасности (экономической, финансовой, экологической и любой другой) поддается строгой и точной оценке (логической или математической), а ресурсы неисчерпаемы, риска как такового нет. Когда же такая оценка затруднена, и оперирующая сторона ограничена в ресурсах говорят о риске. Таким образом, риск есть разумный способ действия в условиях неопределенности, слабой предсказуемости событий и ограниченности ресурсов.

В конфликтах различают вероятностный, ситуационный и оперативный риски [4].

Вероятностный риск соответствует статистическому подходу к анализу явлений и основан на сопоставлении априорных вероятностей исходов конфликта. В этом случае риск измеряется отклонением исхода в конкретной операции от среднестатистической оценки. Такое понимание риска целесообразно и допустимо для массово повторяющихся операций (типа стрельбы по мишени) или для множества параллельных операций «действие – реакция», реализующих единичный акт взаимодействия (типа обмена массированными ракетными ударами).

Ситуационный риск характеризует возможные отклонения реальной ситуации конфликта от ее предварительной оценки, в том числе вследствие недоучета ряда признаков или скрытых тенденций. В этом случае риск измеряется на основе некоторой системы ценностей (например, потери прибыли предприятием в результате недоучета ряда экономических факторов или снижения рейтинга популярности политика из-за неудачного выступления в средствах массовой информации вследствие неправильной оценки психологического портрета аудитории). При этом суть проблемы снижения уровня риска заключается в поиске способов более полного учёта факторов, влияющих на результаты действий в конфликте.

Оперативный риск отражает стремление участников конфликта к предвидению действий противника и умение навязать желаемый способ действия противостоящей стороне. Смысл этого понятия состоит в том, что, организуя свои действия в соответствии с предположениями относительно возможных действий противника, участники конфликта рискуют ошибиться, если другая сторона будет действовать не в соответствии с этими предположениями, а другим образом. Естественно, что противоборст-

вующие стороны прогнозируют возможные варианты действий противника, однако никогда нет уверенности в том, что набор вариантов исчерпан полностью. Наибольшим риск будет при условии, что другая сторона узнает (разгадает) замысел. В этом случае риск измеряется установлением предпочтения между различными вариантами действий, например, в следующей форме: если противник будет действовать по варианту «Х», то наше действие «А» обладает меньшим риском по сравнению с действием «Б», а действие «В» обладает меньшим риском по сравнению с действиями «А» и «Б». Сложность заключается в способе «заставить» противника действовать по варианту «Х». Здесь на помощь приходят технологии и схемы рефлексивного управления.

Оперативный риск характерен для уникальных, персонифицированных операций и не связывается с их повторяемостью. Более того, одна и та же операция может иметь малый вероятностный риск, но очень высокий оперативный риск и наоборот.

ГЛАВА 3. МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ КООРДИНАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ КОНФЛИКТАМИ

3.1. ПОНЯТИЕ КООРДИНАЦИИ

Координация – это разновидность управления в иерархических многоуровневых системах, между компонентами которых есть конфликт, но нет антагонизма. Оно отличается от обычного управления следующими особенностями [2, 12, 25]: а) координация предполагает специализацию, разделение управленческого труда, то есть проблема координации возникает тогда, когда подсистема управления состоит из нескольких управляющих компонентов, каждый из которых имеет дело с некоторой частью общего управляемого процесса; б) при координации всегда существует вышестоящий решающий компонент (координатор), который имеет право вмешиваться в деятельность нижестоящих компонентов, не подменяя их и не возлагая на себя выполнение собственных им управленческих функций; в) проблема координация возникает тогда, когда нижестоящие компоненты обладают определенной самостоятельностью (активностью) при выборе управленческих решений. Не только исключение, но всякое ущемление свободы выбора, снижает качество управления, поскольку сопро-

вождается снятием ответственности с подчиненных при выполнении ими своих функциональных обязанностей. Вместе с тем, свобода выбора управлений приводит к формированию у нижестоящих компонентов целей, в общем случае не совпадающих с целью всей системы. Возникает конфликт интересов частное-частное и частное-общее. Поэтому, в отличие от обычного управления, координация предполагает анализ конфликтных ситуаций и поиск путей разрешения противоречий за счет согласования частных интересов сторон, в интересах достижения глобальных интересов всей системы.

3.2. МОДЕЛЬ И СПОСОБЫ КООРДИНАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ

Пусть имеется двухэшелонная система $S = \langle S_1, S_2 \rangle$, схема которой приведена на рис. 2.11.

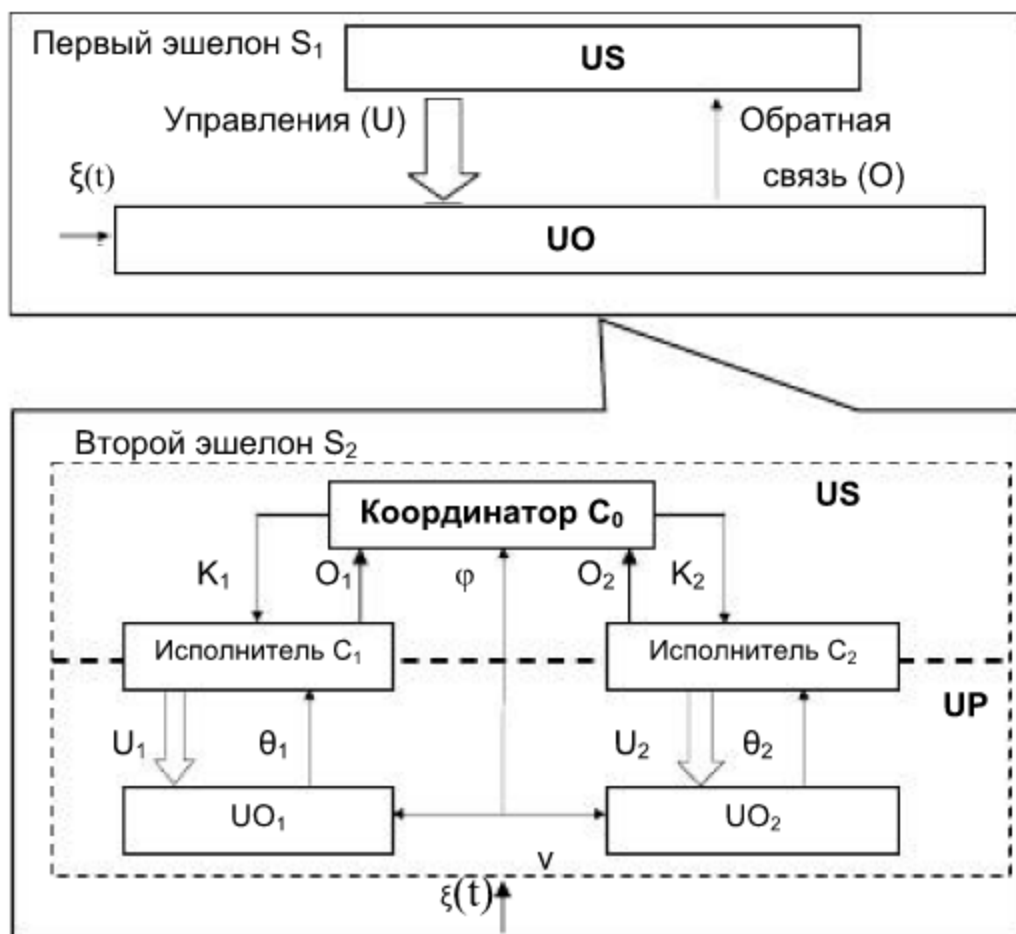


Рис. 2.11. Модель координационного управления

На первом эшелоне S_1 она состоит из управляющей подсистемы US и управляемого процесса UO , на который действуют не-

кие внешние возмущения $\xi(t)$, отклоняющие процесс от заданного целевого состояния, то есть $S_1 = \langle US, UO, U, O, \xi(t) \rangle$, где U – управления, O – обратная связь (информация о состоянии управляемого процесса).

Для определенности положим, что функция управляющей подсистемы US состоит в выработке управлений, приводящих к минимуму отклонение управляемого процесса UO от заданного целевого состояния на интервале времени $[t, t + T]$. То есть оптимальными считаются такие управления U^* , что

$$\delta_p(U^*, O, \xi(t)) \big|_{t, t+T} \rightarrow \min, U \in Q, \quad (2.5)$$

где δ_p – отклонения управляемого процесса от заданного целевого состояния; Q – область допустимых управлений.

Это – традиционная, хорошо изученная задача оптимального управления. Для ее решения используется широкий арсенал методов математической оптимизации, в частности, линейного, нелинейного и динамического программирования. С практической точки зрения трудности в решении задач подобного типа начинаются с переходом ко второму эшелону представления системы, то есть с раскрытия структуры и механизмов формирования управляющих воздействий. В нашем случае второй эшелон S_2 образован координатором C_0 и исполнителями C_1, C_2 – органами, непосредственно управляющими взаимосвязанными частными подпроцессами UO_1, UO_2 , составляющими процесс $UO = \{UO_1, UO_2, v\}$, где v – взаимосвязи между подпроцессами. Другими символами на схеме обозначены: K_1, K_2 – координирующие воздействия; U_1, U_2 – управляющие воздействия; θ_1, θ_2 – информация о состоянии подпроцессов, ϕ – информация о рассогласовании подпроцессов.

Функционирование такой системы представляется следующим образом. Координатор C_0 , получая информацию ϕ о текущем рассогласовании подпроцессов UO_1 и UO_2 , стремится минимизировать отклонение всего процесса UO от заданного целевого состояния. Подчеркнем, что при этом он основывается не на всей информации о состоянии процесса (O), а только на той его части, которая отражает возникающие рассогласования между составляющими управляемого процесса. Кроме того, C_0 не воздействует непосредственно на процесс UO , а управляет им опосредованно, путем подачи координирующих воздействий K_1 и K_2 на C_1 и C_2 . Как уже отмечалось, принципиальным качеством исполнителей

является определенная свобода в выборе ими своего поведения, трактуемая, например, как возможность выработки управлений U_1 и U_2 исходя из собственного видения ситуации, то есть на основе информации $(\theta_1, \theta_2) \neq O$. Кроме того, они могут самостоятельно формировать цели своего поведения и выбирать критерии принятия локальных управленческих решений, которые в общем случае могут не совпадать с глобальной целью системы и даже ей противоречить. В любом случае разделение управляющей подсистемы на части эквивалентно наделению частей несовпадающими функциями, что служит основным фактором, порождающим проблему координации. В принципе этот фактор можно ликвидировать, но тогда все функции по управлению системой лягут на координатора, а исполнители превратятся в простые ретрансляторы, которые можно безболезненно исключить из состава системы. Так обычно и поступают в тех случаях, когда координатор в одиночку может справиться с дополнительными функциями и возрастающими потоками информации. Однако типовой является обратная ситуация, когда центральный орган перегружен информационными потоками и физически не способен управлять развитием процесса без помощников – исполнителей. Таким образом, проблема координации возникает как своеобразная плата за децентрализацию управления или как реакция целого на его расчленение. Включение исполнителей в общий цикл управления формально означает декомпозицию выписанной выше задачи оптимального управления (2.5) на три совместно решаемые задачи. Для определенности предположим, что исполнители стремятся вырабатывать управления U_i^* , так что

$$\delta_{pi} [U_i^*(K_i, \theta_i), \xi(t)] \big|_{t, t+T} \rightarrow \min, i = 1, 2, U_i \subset Q_i, \quad (2.6)$$

где Q_i – области допустимых управлений для исполнителей.

То есть их функции сводятся к тому, чтобы при фиксированных координирующих воздействиях K_i минимизировать отклонения управляемых подпроцессов δ_{pi} от заданных целевых состояний. Тогда задача координатора будет заключаться в выработке таких координирующих воздействий K_1^* и K_2^* , что

$$\delta_p [U_1^*(K_1^*, \theta_1), U_2^*(K_2^*, \theta_2), \varphi, v, \xi(t)] \big|_{t, t+T} \rightarrow \min, \quad (2.7)$$

$$(K_1, K_2) \subset G, U_i \subset Q_i,$$

$$f(U_1, U_2, K_1, K_2) = 0,$$

где G – область допустимых координирующих воздействий.

Таким образом, задача координатора будет заключаться в том, чтобы на основании информации о характере рассогласования частных управляемых подпроцессов выработать и довести до исполнителей такие координирующие воздействия, которые заставят их или помогут им вырабатывать управляющие воздействия, минимизирующие отклонения общего процесса от заданного целевого состояния.

Решению подобных задач предшествует выбор способа координации. Под способом координации будем понимать правило, регламентирующее взаимоотношения между координирующим органом (координатором) и координируемыми объектами (исполнителями). Выделяют пять основных способов координационного управления [18].

I способ – координация путем прогнозирования противоречий, при которой координатор на основе анализа текущей ситуации осуществляет прогнозирование характера и тенденций развития конфликта и сообщает исполнителям информацию о возможных противоречиях и возможных путях их развития, а последние действуют с учетом этой информации.

II способ – координация путем прямого регулирования противоречий, при котором координатор отдает команды исполнителям, полностью исключаящие всякую неопределенность их действий в конфликте, а они принимают эти команды к неукоснительному исполнению.

III способ – координация путем «развязывания» противоречий, при которой координатор не вмешивается в противоречивые взаимоотношения исполнителей, отдавая им «на откуп» решение возникающих проблем, ограничиваясь постановкой задач и оценкой результатов их выполнения.

IV способ – координация путем наделения ответственностью, при которой координатор разграничивает полномочия исполнителей по разрешению возникающих противоречий, а последние самостоятельно действуют в рамках отпущенных им полномочий.

V способ – координация путем создания коалиций, при которой координатор объединяет исполнителей в группы по какому-либо признаку, например общности интересов, и предоставляет им возможность самостоятельно действовать в составе группы,

но оставляет за собой право корректировать групповое поведение.

В табл. 2.1 ранжированы указанные способы в зависимости от состояния управляемого процесса [30].

Т а б л и ц а 2.1. Целесообразные способы координации в зависимости от состояния управляемого процесса

Состояние управляемого процесса	Целесообразный способ координации
Дезорганизован	Прямое регулирование
Крайне неустойчив	Наделение ответственностью
Неустойчив	Создание коалиций
Устойчив	Прогнозирование противоречий
Стабильно устойчив	«Развязывание» противоречий

Общая закономерность такова: что чем ближе подходит управляемый процесс к дезорганизованному состоянию, тем выше должна быть степень централизации управления, и, наоборот, чем стабильнее управляемый процесс, тем менее централизованной должна быть структура управления.

При управлении реальными процессами указанные способы могут реализовываться в различных комбинациях и переходить один в другой. Помимо этого, в рамках каждого способа возможны специфические модификации, различающиеся уже не по формальным, а по содержательным признакам. В частности, следует выделить целевую, ресурсную, временную, пространственную координацию, а также координацию по объектам воздействия и используемым при этом способам совершения действий. Комбинируясь и сочетаясь, эти модификации образуют практически неограниченное число возможных вариантов координационного разрешения конфликтных ситуаций.

3.3. АЛГОРИТМЫ КООРДИНАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ

При разработке алгоритмов координационного управления необходимо учитывать, как соотносятся между собой интересы координатора и исполнителей. Здесь возможны три варианта: интересы координатора доминируют над интересами исполнителей; интересы исполнителей доминируют над интересами координатора; имеет место паритет интересов координатора и исполнителей.

Предположим:

а) цели деятельности исполнителей и все стимулы к компромиссу количественно измеримы, и их можно представить в некотором пространстве параметров;

б) известно влияние стимулов на деятельность исполнителей и они действуют независимо;

в) множество стимулов, вынуждающих исполнителей идти на компромисс с координатором, сводится к пяти мотивирующим факторам: вере (V) в приоритет цели системы над целью каждого исполнителя; ожиданию поощрения (G), которое исполнитель получит за достижение цели системы; наказанию (D), которое он ожидает получить, если цель системы не будет достигнута; самосознанию (P), в соответствии с которым исполнитель сознательно отдает приоритет цели системы по сравнению со своей собственной целью; личностным отношениям (L) в виде симпатии или антипатии исполнителей и координатора.

Тогда величина компромисса со стороны исполнителей $K_{оп}$ является функцией указанных стимулирующих факторов [2]

$$K_{оп} = 0,2 (V\xi_V + G\xi_G + D\xi_D + P\xi_P + L\xi_L), \quad (2.8)$$

где ξ ($0 \leq \xi \leq 1$) с соответствующим индексом – экспертный коэффициент, характеризующий чувствительность $K_{оп}$ к тому или иному стимулу;

$$V = \sum_{i=1}^m \lambda_i, \text{ при } \sum_{i=1}^M \lambda_i = 1, \quad (2.9)$$

где m – число руководящих указаний координатора, принятых исполнителями для реализации; M – общее число указаний, определяющих приоритет системной цели, λ_i ($\lambda_i = \overline{0,1}$) – фактор существенности;

$$G = \frac{1}{\log N} \left[\sum_i^N p_i^{\Pi} \log p_i^{\Pi} - \sum_i^N p_i^D \log p_i^D \right], \quad (2.10)$$

где p_i^D , p_i^{Π} – экспертные оценки вероятности реакции исполнителей на внешние воздействия соответственно до и после поощрения; N – количество материальных и социальных целей исполнителей;

$$D = \frac{1}{\log N} \left[\sum_i^N v_i^{\Pi} \log v_i^{\Pi} - \sum_i^N v_i^D \log v_i^D \right], \quad (2.11)$$

где v_i^D , v_i^P – экспертные оценки вероятности реакции исполнителей на внешние воздействия соответственно до/после наказания;

$$P = \omega_{ЦП} - \omega_{ЦО}, \quad (2.12)$$

где $\omega_{ЦО}$ ($0 \leq \omega_{ЦО} \leq 1$) – удельный вес системной цели $\omega_{ЦП}$ ($0 \leq \omega_{ЦП} \leq 1$) – удельный вес цели исполнителей ($\omega_{ЦО} + \omega_{ЦП} = 1$);

$$L = \frac{1}{S} \sum_i^S \varphi_i \Xi_i, \quad (2.13)$$

где φ_i ($\varphi_i = \overline{0,1}$) – экспертный коэффициент, характеризующий важность i -й ($i = \overline{1,S}$) ситуации общения исполнителей с координатором; Ξ_i – экспертный коэффициент, характеризующий эмоциональную составляющую общения

$$\Xi_i = \begin{cases} +1, \text{положительные эмоции;} \\ 0, \text{полное отсутствие эмоций;} \\ -1, \text{отрицательные эмоции.} \end{cases}$$

Алгоритм расчета величины $K_{оп}$ согласно выражениям (2.8)-

(2.13) представлен на рис. 2.12. Рассмотренный метод оценки компромисса

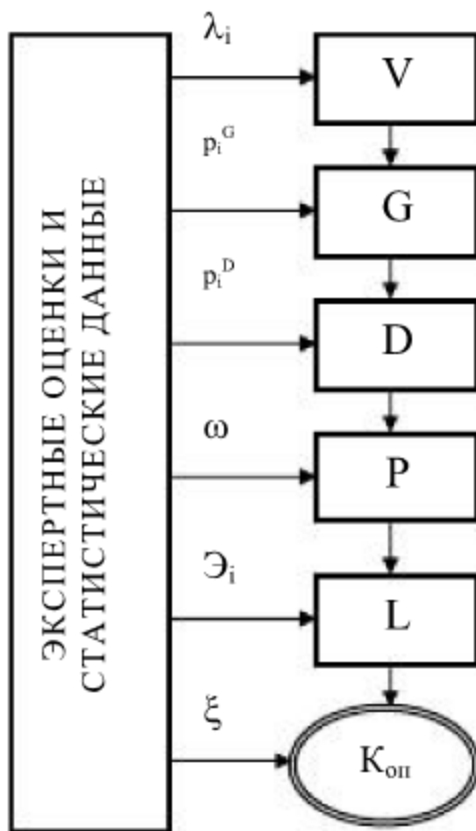


Рис. 2.12. Алгоритм оценки компромисса

позволяет на количественной основе анализировать характер взаимоотношений исполнителей с координатором. Так, если $K_{оп} = 0$, то в процессе функционирования исполнители не идут ни на какой компромисс с координатором, принимая к действию только свои собственные цели (ситуацию, когда $K_{оп} < 0$, следует рассматривать, как избыточное условие для безусловного выбора исполнителем собственной цели в качестве основной мотивации для своей деятельности). В том случае, когда $K_{оп} = 1$, также нет компромисса, поскольку исполнители, игнорируя собственную цель, принимают к действию цель системы. При выполнении условия $0 < K_{оп} < 1$, имеет место компро-

мисс.

Построим алгоритмы координационного управления для каждого из указанных вариантов в предположении, что целевые функции координатора и исполнителей описываются (2.7) и (2.6) соответственно.

Алгоритм координации при доминировании интересов координатора. Предположим, что: а) целевые функции (2.7) и (2.6) нелинейные и непрерывно дифференцируемые на некотором интервале параметров; б) системные интересы доминируют над интересами исполнителей, то есть $K_{оп} = 1$;

Тогда алгоритм координации сводится к пошаговой итерационной процедуре, включающей:

Шаг 1. Зададим две начальные случайные точки $y_1^0 \in Y$ и $y_2^0 \in Y$.

Шаг 2. Одним из методов локальной оптимизации (например, методом градиентного спуска) решим задачи (2.6). Значения $m_i^{*(0)}$ и $\delta_{pi}^{(0)}$ запомним.

Шаг 3. Для полученных значений $m_i^{*(0)}$ решим задачу (2.7) и запомним значения $y_1^{*(0)}$, $y_2^{*(0)}$ и $\delta_p^{(0)}$.

Шаг 4. Выберем новые случайные точки $y_1^1 \in Y$ и $y_2^1 \in Y$.

Шаг 5. Решим задачи (2.6).

Шаг 6. При новых значениях $m_i^{*(1)}$ и $\delta_{pi}^{(1)}$ решим задачу (2.7) и зафиксируем новые значения $y_1^{*(1)}$, $y_2^{*(1)}$ и $\delta_p^{(1)}$.

Шаг 7. Оценим очередной результат. Если он окажется лучше предыдущего в смысле целевой функции δ_p , то есть

$$(\delta_p^{(1)} < \delta_p^{(0)}), \quad (2.14)$$

то запоминаются соответствующие значения $y_1^{*(1)}$, $y_2^{*(1)}$, $\delta_p^{(1)}$ и процедура повторяется. В противном случае ($\delta_p^{(1)} \geq \delta_p^{(0)}$) остаются прежние значения $y_1^{*(0)}$, $y_2^{*(0)}$ и $\delta_p^{(0)}$ – попытка считается безуспешной. Поиск прекращается после того, как совершится μ безуспешных шагов улучшить результат.

Если количество локальных экстремумов целевой функции δ_p заранее неизвестно, то по заданному значению вероятности нахождения глобального экстремума можно с достаточной точностью оценить целое число μ , характеризующее число следующих подряд реализаций и связанное с вероятностью пропуска глобального экстремума.

Пусть есть β минимумов из них $(\beta - 1)$ принадлежит области $\Delta_p \in Y$ ($p = 1, 2, \dots, \beta - 1$), а один – глобальный, области $\Delta_\beta \in Y$. Со-

гласно приведенному выше алгоритму производится моделирование равномерно распределенной в области Y случайной точки μ раз. Обозначим через P вероятность попадания точки в область притяжения Δ_α , а через αP ($0 < \alpha < 1$) – вероятность попадания точки в область притяжения Δ_β . Тогда, $(\beta - 1)P + \alpha P = 1$, а вероятность пропуска глобального экстремума

$$P' = (1 - \alpha P)^\mu = (1 - \alpha / \beta - 1 + \alpha)^\mu. \quad (2.15)$$

Задавая в формуле (2.15) требуемое значение величины P' , всегда можно оценить целое число μ . Если количество локальных экстремумов заранее неизвестно, то целое число μ можно оценить экспериментальным путем.

Очевидно, что по мере приближения к области минимума число следующих подряд реализаций μ будет возрастать. Количество неудачных реализаций в точке оптимума, естественно, становится бесконечно большим, независимо от того, где находится эта точка – на границе области или нет. Функциональная зависимость между критерием останова и относительной погрешностью расчетов устанавливается экспериментально.

Алгоритм координации при доминировании интересов исполнителей. Предположим, что: а) как и в предыдущем случае, целевые функции (2.7) и (2.6) нелинейные и непрерывно дифференцируемые на некотором интервале; б) частные интересы исполнителей доминируют над системными интересами, то есть $K_{оп} = 0$; в) Допущение б) предполагает, что критерий оптимальной координации должен основываться на сопоставлении величин δ_{pi} , а не величины δ_p , как это было в случае доминирования интересов координатора.

С учетом последнего замечания алгоритм координационного управления при доминировании интересов исполнителей сводится к пошаговой итерационной процедуре, включающей:

Шаг 1. Зададим две начальные случайные точки $y_1^0 \in Y$ и $y_2^0 \in Y$.

Шаг 2. Методом градиентного спуска решим задачи (2.6). Значения $m_i^{*(0)}$ и $\delta_{pi}^{(0)}$ запомним.

Шаг 3. Для полученных значений $m_i^{*(0)}$ решим задачу (2.7) и запомним значения $y_1^{*(0)}$, $y_2^{*(0)}$ и $\delta_p^{(0)}$.

Шаг 4. Выберем новые случайные точки $y_1^1 \in Y$ и $y_2^1 \in Y$.

Шаг 5. Решим задачи (2.6).

Шаг 6. При фиксированных значениях $m_i^{*(1)}$ и $\delta_{pi}^{(1)}$ решим задачу (2.7) и зафиксируем новые значения $y_1^{*(1)}$, $y_2^{*(1)}$ и $\delta_p^{(1)}$.

Шаг 7. Оценим очередной результат. Если

$$\forall_i (\delta_{pi}^{(1)} < \delta_{pi}^{(0)}), \quad (2.16)$$

то запоминаются соответствующие значения $y_1^{*(1)}$, $y_2^{*(1)}$, $\delta_{pi}^{(1)}$ и процедура повторяется. В случае, когда не выполняется условие (2.16), значения $m_i^{*(1)}$, $y_1^{*(0)}$, $y_2^{*(0)}$ и $\delta_{pi}^{(0)}$ остаются прежними – попытка считается безуспешной. Поиск прекращается после того, как совершится μ безуспешных шагов улучшить результат.

Алгоритм координации при паритете интересов координатора и исполнителей. Предположим, что: а) как и в предыдущих случаях, целевые функции (2.7) и (2.6) нелинейные и непрерывно дифференцируемые на некотором интервале параметров; б) между интересами исполнителей и координатора установлен определенный паритет, то есть $0 < K_{оп} < 1$;

Смысл допущения б) заключается в том, что, в отличие от двух предыдущих случаев, критерий оптимальной координации должен основываться на сопоставлении как величин δ_{pi} , так и величины δ_p .

С учетом последнего замечания алгоритм координации при паритете интересов сторон сводится к пошаговой итерационной процедуре, включающей:

Шаг 1. Зададим две начальные случайные точки $y_1^0 \in Y$ и $y_2^0 \in Y$.

Шаг 2. Методом градиентного спуска решим задачи (2.6). Значения $m_i^{*(0)}$ и $\delta_{pi}^{(0)}$ запомним.

Шаг 3. Для полученных значений $m_i^{*(0)}$ решим задачу (2.7) и запомним значения $y_1^{*(0)}$, $y_2^{*(0)}$ и $\delta_p^{(0)}$.

Шаг 4. Выберем новые случайные точки $y_1^1 \in Y$ и $y_2^1 \in Y$.

Шаг 5. Решим задачи (2.6).

Шаг 6. При фиксированных значениях $m_i^{*(1)}$ и $\delta_{pi}^{(1)}$ решим задачу (2.7) и зафиксируем новые значения $y_1^{*(1)}$, $y_2^{*(1)}$ и $\delta_p^{(1)}$.

Шаг 7. Оценим очередной результат. Если

$$\forall_i (\delta_{pi}^{(1)} < \delta_{pi}^{(0)}) \& (\delta_p^{(1)} < \delta_p^{(0)}), \quad (2.17)$$

то запоминаются соответствующие значения $y_1^{*(1)}$, $y_2^{*(1)}$, $\delta_p^{(1)}$, $\delta_{pi}^{(1)}$ и процедура повторяется. В случае, когда не выполняется

условие (2.17), значения $m_i^{*(1)}$, $y_1^{*(0)}$, $y_2^{*(0)}$, $\delta_p^{(1)}$ и $\delta_{p_i}^{(0)}$ остаются прежними – попытка считается безуспешной. Поиск прекращается после того, как совершится μ безуспешных шагов улучшить результат.

3.4. ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ КООРДИНАЦИЯ В МНОГОУРОВНЕВОЙ ИЕРАРХИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ С АКТИВНЫМИ КОМПОНЕНТАМИ

Формулировка задачи. Будем исходить из того, что при управлении в системах с иерархической структурой основной целью является нахождение на каждом уровне $i = \overline{1, N}$ вектора управлений $u_i^0(t)$, который: а) обеспечивает максимум системного вектора целевых функций $F(u_1^0, \dots, u_N^0)$ при координирующих управлениях $u_{N+1}^0(t)$, полученных от $(N+1)$ -го уровня управления; б) принадлежит подмножеству допустимых для данной системы режимов функционирования (технологических, экономических и т.д.) $S \subset U$. Процесс выработки управлений осуществляется в дискретные моменты времени $t = \overline{1, T}$, и в общем случае, шаг дискретизации тем больше, чем выше уровень иерархии. Часть управлений (в основном на нижних уровнях иерархии) носит характер прямых воздействий, однозначно определяющих поведение подчиненных, а другая часть координирует работу подсистем нижестоящих уровней. Назначение нижестоящим подсистемам целевых функций также является средством координации, однако в данной задаче предполагается, что они уже выбраны и остаются неизменными в процессе функционирования системы. Таким образом, речь идет не о целевой, а параметрической координации (по ресурсам, времени и месту действия, а также по способам совершения действий).

Попытки непосредственного использования единого глобального критерия верхнего уровня $F(\bar{u}_N)$ с последующей его декомпозицией для подсистем нижних уровней не только делает указанную задачу оптимизации крайне сложной, но самое главное игнорирует наличие собственных целевых функций у активных подсистем. К тому же, глобальная целевая функция $F(\bar{u}_N)$

не зависит явным образом от решений, принимаемых подсистемами нижестоящих уровней, что не позволяет выписать глобальную задачу оптимизации в аналитическом виде. Поэтому будем предполагать, что для каждой j -ой подсистемы i -го уровня заданы свои целевые функции $F(\bar{u}_{ij})$ на множествах управлений подсистем, а системная целевая функция $F(\bar{u}_1, \dots, \bar{u}_N)$ является векторной и зависит как от глобального критерия $F(\bar{u}_N)$, так и от целевых функций подсистем $F(\bar{u}_{ij})$. В настоящее время принято исследовать вопросы оптимизации для двухуровневой системы и принимать эту задачу как основной модуль для любой N -уровневой системы [3, 4], причем для решения задачи на $(i-1)$ -м уровне считается заданным результат оптимизации на i -м уровне. Или, если записать \bar{u}_N в виде $\bar{u}_N = \{\bar{u}_{ij}\}, i = \overline{1, N}, j = \overline{1, M}$, где $M = m_i$ – число подсистем на i -м уровне управления, то предполагается, что при нахождении решений $u_{(i-1)j}, j = \overline{1, m_{i-1}}$, все решения $u_{ij}, j = \overline{1, m_i}$, уже приняты. Это дает основание использовать для оптимизации управлений в многоуровневых иерархических системах различные итеративные процедуры.

Применим процедуру инвариантного погружения [2] и будем рассматривать вместо задачи с четким решением u_{N+1}^0 на $(N+1)$ -м уровне и фиксированным числом уровней N некоторое семейство задач с $N = 1, 2, 3, \dots; u_{N+1}^0 = [0, \infty]$. В этом случае максимум функций $F(\bar{u}_1, \dots, \bar{u}_N)$ будет зависеть от N и \bar{u}_i . К поиску этой зависимости собственно и сводится существо решаемой задач. Таким образом, исходная четкая задача поиска оптимальных управлений с помощью метода инвариантного погружения фактически размывается, что приводит к понятию нечеткого управления для каждого уровня иерархии. Это позволяет применить для решения сформулированной задачи хорошо развитый аппарат теории нечетких множеств.

Метод решения. На возможность преодоления трудностей решения оптимизационных задач управления, обусловленных наличием векторного критерия, отсутствием унимодальности, дискретностью и нелинейностью, путем преднамеренного внесения неопределенности или случайности, указывалось еще в работах [14, 18]. Но в отличие от этого подхода предлагается осуществ-

лять не тотальное «размывание», а рандомизацию решения для одноуровневых систем. При этом в качестве характеристики управлений по отдельным подсистемам j и для всей системы в целом будем использовать функцию принадлежности вырабатываемых управлений к подмножеству допустимых, эффективных и скоординированных управлений $\mu_D(\bar{u}_N)$ [1]. Причем эта функция не сводится для четких управлений к функции $F(\bar{u}_N)$, так как она: включает в себя не только характеристику эффективности управления, но и характеристику его допустимости (степень принадлежности управления \bar{u}_N к подмножеству допустимых C); скоординирована с целями и ограничениями нижестоящих подсистем (степень принадлежности управления \bar{u}_N к подмножеству скоординированных управлений K).

Функции принадлежности будем определять на множестве управлений $U = \{u_{ij}\}$, а эффективность управлений задавать нечеткой целью $G \subset U$ как нечеткое подмножество с функцией принадлежности $\mu_G(u_{ij})$. Допустимость управлений – нечетким подмножеством $C \subset U_C$ с функцией принадлежности $\mu_C(u_{ij})$, а степень координированности – нечетким множеством $K \subset U$ с функцией принадлежности $\mu_K(u_{ij})$.

Результирующее влияние нечеткой цели G , нечетких ограничений C и нечеткой координации K на выбор управлений u_{ij} может быть представлено пересечением $G \cap C \cap K$, для которого функция принадлежности задается соотношением

$$\begin{aligned} \mu_{G \cap C \cap K}(u_{ij}) &= \mu_G(u_{ij}) \wedge \mu_C(u_{ij}) \wedge \mu_K(u_{ij}) = \\ &= \min\{\mu_G(u_{ij}), \mu_C(u_{ij}), \mu_K(u_{ij}); u_{ij}\}; u_{ij} \in U \end{aligned} \quad (2.18)$$

Тогда нечеткое подмножество $D = G \cap C \cap K$ будем называть нечетким управлением j -й подсистемы i -го уровня i , причем

$$\mu_D(u_{ij}) = \mu_{G \cap C \cap K}(u_{ij}). \quad (2.19)$$

При наличии связей между иерархическими уровнями, процесс выработки управлений для некоторой подсистемы r на уровне $(i+1)$ может быть связан с управлениями, выработанными подсистемами i -го уровня, то есть

$$U_{(i+1)r} = f(u_{i1}, \dots, u_{iM}). \quad (2.21)$$

В частном случае, для стационарного режима работы системы и когда множество управлений U состоит только из одного параметра, (2.21) может быть записано в виде ограничения

$$U_{(i+1)r} = \sum_{j=1}^M \varpi_j u_{ij}, \quad (2.22)$$

где ϖ_j ($\varpi_j = \overline{0,1}$) – экспертные весовые коэффициенты, характеризующие относительное влияние управлений нижестоящего уровня на выработку управлений вышестоящим уровнем.

В общем случае управления могут вырабатываться и для нестационарных режимов работы системы, тогда вместо (2.22) будут фигурировать дифференциальные уравнения. Например, пусть имеется двухуровневая экономическая система, состоящая из центра-координатора (вышестоящего субъекта, обладающего способностью воздействовать экономическими рычагами на нижестоящие субъекты) и двух нижестоящих субъектов, находящихся в отношениях конкуренции. Как показано в [31], уравнения (2.21) для этого случая принимают следующий вид:

$$\begin{cases} \frac{dE_1}{dt} = E_1(p_1 - u_{11}E_1 - u_{12}E_2 - v_{13}E_3); \\ \frac{dE_2}{dt} = E_2(p_2 - u_{12}E_1 - u_{22}E_2 - v_{23}E_3); \\ \frac{dE_3}{dt} = E_3(-p_3 + v_{31}E_1 - v_{32}E_2), \end{cases} \quad (2.23)$$

где E_1, E_2 – текущая эффективность конкурируемых субъектов; E_3 – текущая эффективность центра; p_1, p_2 – экономический потенциал первого и второго субъекта; p_3 – удельная скорость снижения эффективности центра при отсутствии конкурирующих субъектов; u_{11} и u_{22} – коэффициенты самоограничения; u_{12} и u_{21} – коэффициенты конкуренции; v_{13} и v_{23} – коэффициенты, характеризующие снижение эффективности субъектов за счет деятельности центра; v_{31} и v_{32} – коэффициенты, характеризующие интенсивность использования центром ресурсов нижестоящих субъектов.

Системное скоординированное управление на уровне N может быть определено выражением вида

$$\begin{aligned}
D(u_N) = & [D(u_{11})...D(u_{1M})D(u_{21})... \\
& ...D(u_{2M})...D(u_{(N-1)1})... \\
& ...D(u_{(N-1)M})] \cap C(u_N) \cap G(u_N).
\end{aligned} \tag{2.24}$$

Вследствие инвариантности введенного описания по уровням системы из (2.24) следует, что

$$\begin{aligned}
D(u_{ij}) = & [D(u_{11})...D(u_{1M}) \\
& D(u_{21})...D(u_{2M}).... \\
& ...D(u_{(i-1)1})...D(u_{(i-1)M})] \cap \\
& \cap C(u_{ij}) \cap G(u_{ij}).
\end{aligned} \tag{2.25}$$

В частности,

$$\begin{aligned}
D(u_{(i+1)r}) = & [D(u_{11})...D(u_{1M}) \\
& D(u_{21})...D(u_{2M})... \\
& ...D(u_{i1})...D(u_{iM})] \cap \\
& \cap C(u_{(i+1)r}) \cap G(u_{(i+1)r}).
\end{aligned} \tag{2.26}$$

Учтем, что в иерархической структуре управление на i -м уровне иерархии зависит от: состояния подсистемы этого уровня; управлений, вырабатываемых вышестоящим $(i+1)$ -м уровнем; управлений, вырабатываемых нижестоящим $(i-1)$ -м уровнем. Тогда (2.26) можно записать через нечеткие управления нижестоящего уровня следующим образом:

$$D(u_{(i+1)r}) = [D(u_{i1})...D(u_{iM})] \Big|_i \cap C(u_{(i+1)r}) \cap G(u_{(i+1)r}). \tag{2.27}$$

Очевидно, что управляющая подсистема r уровня $(i+1)$ должна предварительно «свернуть» все управления нижестоящих подсистем $[D(u_{i1}), ..., D(u_{iM})] \Big|_i$ в системное управление $D(u_{i1}), ..., D(u_{iM})$. Тогда (2.27) можно записать в виде

$$D(x_{(i+1)r}) = [D(x_{i1})...D(x_{iM})] \cap C(x_{(i+1)r}) \cap G(x_{(i+1)r}). \tag{2.28}$$

С учетом нечеткости выражение (2.28) принимает вид

$$\mu_D(u_{(i+1)r}) = [\mu_D(u_{i1}, ..., u_{iM})] \mathfrak{M}[\mu_G(u_{(i+1)r})] \mathfrak{M}[\mu(u_{(i+1)r})], \tag{2.29}$$

где $\mu_D(u_{i1}, ..., u_{iM}) = \mu_D(u_{i1}) \mathfrak{M} ... \mathfrak{M} \mu_D(u_{iM})$, а \mathfrak{M} – операция над функциями принадлежности нечетких множеств.

В каждом конкретном случае операцией \mathfrak{M} над функциями принадлежности может быть: разность, объединение, пересечение, ограниченная сумма, ограниченное произведение, алгебраи-

ческое произведение, или алгебраическая сумма нечетких множеств. Вид \mathfrak{M} определяется сущностью решаемой управленческой задачи, смыслом функции принадлежности и аксиоматикой нечетких множеств. В общем случае операция \mathfrak{M} может заменяться нечетким алгоритмом $\mu(\mathfrak{M})(u)$.

Функция принадлежности $\mu_D(u_{i1}, \dots, u_{iM})$ характеризует согласно (1) межуровневую координацию K , причем для управлений на $(i+1)$ -м уровне необходимо спроектировать координирующее управление $\mu_D(u_{i1}, \dots, u_{iM})$ на ось $u_{(i+1)r}$ с учетом (2.22). Тогда функцию $\mu_D(u_{i1}, \dots, u_{iM})$ можно будет представить в виде

$$\mu(u_{(i+1)r}) = \mu \left\{ \sum_{j=1}^M \varpi_j u_{ij} \right\}. \quad (2.30)$$

Из (2.30) видно, что управление вышестоящего уровня $u_{(i+1)r}$ напрямую зависит от управлений нижестоящих уровней u_{i1}, \dots, u_{iM} . Причем, при прочих равных условиях функционирование подсистемы r -го уровня $(i+1)$ будет наиболее эффективной тогда, когда каждая j -я подсистема i -го уровня будет вырабатывать оптимальные управления (максимизируя свою функцию принадлежности) и при определении своих координирующих управлений стремиться максимизировать проекцию этих решений на ось $u_{(i+1)r}$, то есть

$$\mu_K \left\{ \sum_{j=1}^M \varpi_j u_{ij} \right\} = \max_{\{u_{ij}\}} [\mu_D(u_{i1}) \mathfrak{M} \dots \mathfrak{M} \mu_D(u_{iM})]. \quad (3.31)$$

Это дает возможность использовать для решения поставленной задачи принцип оптимальности Беллмана, который в нашем случае формулируется следующим образом: оптимальные управления в многоуровневой иерархической системе обладает тем свойством, что каковы бы ни были состояние и управления вышестоящего уровня в момент времени t , последующие управления нижестоящих уровней должны быть оптимальными относительно этого управления.

Алгоритм координационного управления. На основе указанного принципа представляется возможным построить рекуррентный алгоритм выработки оптимальных координирующих управлений.

Шаг 1. Решаем оптимизационную задачу на декартовом произведении множеств $u_{i1} \times \dots \times u_{iM}$ с целевой функцией (3.31) для уровня $(i+1)$ с учетом (2.22). Если подсистемы уровня i связаны между собой, то (2.22) необходимо дополнить системой ограничений – равенств и ограничений – неравенств:

$$\bar{H}(u_{i1}, \dots, u_{iM}) = 0; \quad (2.32)$$

$$\bar{W}(u_{i1}, \dots, u_{iM}) \geq 0, \quad (2.33)$$

описывающих связь подсистем на i -м уровне. Результатом решения оптимизационной задачи является функция принадлежности

$$\mu_K(u_{(i+1)r}) = \mu_D \left\{ \sum_{j=1}^M \varpi_j u_{ij} \right\}.$$

Шаг 2. Находим нечеткое решение на $(i+1)$ -м уровне $\mu_D(u_{(i+1)r})$, используя формулу (2.29).

Шаг 3. Находим четкое решение на N -м уровне управления. Для чего выбираем такое управление u_N^0 , для которого степень принадлежности к подмножеству эффективных и допустимых решений $\mu_D(u_N)$ является максимальной, то есть

$$\mu_D(u_N^0) = \max_{\{u_N\}} [\mu_D(u_N)]. \quad (2.34)$$

Шаг 4. На основе решения оптимизационной задачи (3.34), при ограничениях (2.32, 2.33) и $\sum_{j=1}^M u_{(N-1)j} = u_N^0$ находим четкие управления для уровня $(N-1)$ $u_{(N-1)1}^0, \dots, u_{(N-1)M}^0$. Далее процедура повторяется до тех пор, пока не будут найдены все четкие управления $\{u_{ij}^0\}, i = \overline{1, N}, j = \overline{1, M}$.

Описанные выше модель и соответствующий алгоритм координационного управления являются полностью определенными, так как задана структура системы и выделены уровни иерархии, выявлены предпочтения для каждой подсистемы путем задания соответствующих функций принадлежности, система уравнений и ограничений, описывающих связи в иерархической системе.

Этот аппарат может использоваться для разрешения внутри-системных конфликтов двух видов:

а) внутриуровневого, возникающего из-за несовместимости локальных управлений отдельных элементов в рамках заданной структуры и ограничений;

б) межуровневого (между двумя смежным уровнями), имеющего место из-за того, что цель управления вышестоящего элемента не совпадает с целями, которыми руководствуются элементы нижестоящего уровня при выработке своих управлений.

Важная особенность состоит в том, что применение разработанного аппарата не только позволяет установить наличие или отсутствие подобных конфликтов, но позволяет выяснить их природу на основе использования соответствующих функций принадлежности в качестве характеристики многоуровневой системы. Более того, эти функции принадлежности можно использовать в качестве ориентиров для синтеза и целенаправленного изменения параметров организационной структуры системы.

ГЛАВА 4. МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ РЕФЛЕКСИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ КОНФЛИКТАМИ

4.1. ПОНЯТИЕ РЕФЛЕКСИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Под рефлексией (от позднелат. *reflexio* – обращение назад, отражение) обычно понимается форма теоретической деятельности человека, направленная на осмысление своих собственных действий и их законов, а также деятельность самопознания, раскрывающая специфику духовного мира человека. Это – авторефлексия. В управленческом смысле под рефлексией будем понимать процесс формирования взаимодействующими сторонами линии своего поведения на основе взаимного отражения (моделирования) состояния и возможных вариантов поведения противостоящей стороны.

Следуя [16], в качестве формальной характеристики взаимной рефлексии выберем ранг рефлексии, определяемый следующим образом (подробнее этот вопрос рассмотрен в третьей части). Сторона «А» обладает нулевым рангом рефлексии ($RR^A = 0$), если она в своем поведении руководствуется гарантированными (максиминными) стратегиями, то есть выбирает из всех возможных вариантов поведения конкурентов наихудший для себя вариант и применительно к нему ведет себя наилучшим образом. В том слу-

чае, когда сторона «А» строит свое поведение, предполагая, что сторона «В» имеет нулевой ранг рефлексии ($RR^B = 0$), она обладает первым рангом рефлексии ($RR^A = 1$). Второй ранг рефлексии ($RR^A = 2$) возникает тогда, когда сторона «А» предполагает, что ее конкуренты обладают первым рангом рефлексии ($RR^B = 1$). Общая формула для определения ранга рефлексии выглядит так:

$$(RR^B = K - 1) \rightarrow (RR^A = K), \quad (2.35)$$

сторона «А» обладает K -м рангом рефлексии, если она предполагает, что ее конкуренты имеют $(K - 1)$ -й ранг рефлексии.

Таким образом, ранг рефлексии данной стороны определяется тем, какой ранг рефлексии она приписывает оппоненту. Никаких разумных рекомендаций, ограничивающих рост ранга собственной рефлексии, априори предложить нельзя. Существуют две причины, по которым ранг рефлексии может оказаться конечным [23]. Во-первых, это – нецелесообразность увеличения ранга рефлексии, свыше некоторого значения, когда дальнейшее увеличение ранга рефлексии заведомо не приводит к увеличению выигрыша. Во-вторых, возможности человека по переработке информации ограничены, и бесконечный ранг рефлексии является не более чем математической абстракцией. Поэтому далее при построении моделей процесса рефлексивного управления будем полагать, что $RR^i \leq 1$.

Если при программном управлении речь идет о компенсации внешних отклоняющих воздействий, при адаптивном – о приспособлении (адаптации) к изменениям внешних и внутренних условий, то при рефлексивном управлении каждая сторона стремится к тому, чтобы заставить (принудить) другую сторону действовать так, как это выгодно ей самой. Смысл этого управления заключается в том, чтобы передать каким-либо образом противостоящей стороне (пусть это будет сторона «В») информацию, которая заставит ее выбрать стратегию своего поведения (программу действий на некоторую перспективу), выгодную для стороны «А», то есть для той стороны, что ведет рефлексивное управление. В этом смысле говорят: сторона «А» мотивирует поведение стороны «В». С этой целью сторона «А» должна: а) уяснить потребности и интересы стороны «В», то есть понять мотивы, определяющие ее решения, поступки и линии поведения; б) узнать (обычно путем проведения комплекса маркетинговых мероприятий) возможные варианты действий стороны «В», ее конкретные цели и намере-

ния, способы их достижения, ресурсные и коммуникационные возможности, а также внешние ограничивающие факторы; в) принять (опираясь на эти данные) решение относительно собственного поведения и на этой основе рассчитать выгодную для себя стратегию поведения другой стороны; г) изыскать способ и передать стороне «В» такие данные о себе и своих намерениях, которые побудят ее выбрать стратегию поведения, выгодную для стороны «А».

Если сторона «Б» так же ведет рефлексивное управление, то ей необходимо так же выполнить указанные операции.

Таким образом, в рамках данной работы рефлексивное управление рассматривается как составная часть самоуправления в конфликте, представляющая собой пошаговый двухсторонний процесс передачи противостоящей стороне информации, которая мотивирует ее принимать решения и управлять так, как это выгодно стороне, осуществляющей рефлексивное управление.

4.2. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА РЕФЛЕКСИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Определение основных свойств рефлексивного управления начнем с анализа процесса самоуправления в двухстороннем конфликте. Упрощенная схема этого процесса представлена на рис. 2.13. Как видно из этой схемы, самоуправление в конфликте реализуется за счет прямых и обратных связей, образующих совме-

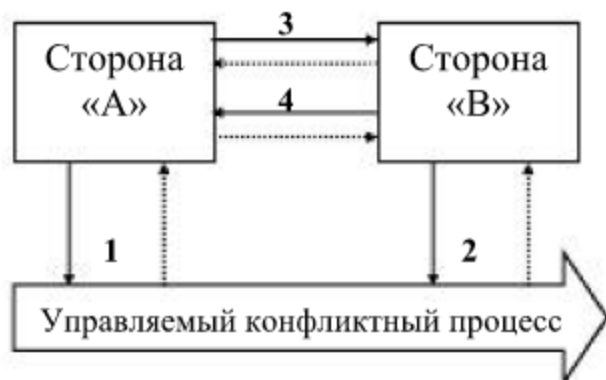


Рис. 2.13. Упрощенная схема самоуправления в конфликте

стно с объектами своего приложения четыре контура управления (на рисунке они обозначены цифрами). Первые два контура (1 и 2) образованы прямыми и обратными связями между управляемым конфликтным процессом и теми частями конфликтующих сторон, которые принято называть управ-

ляющими субъектами. Например, если в качестве управляемого конфликтного процесса рассматривается конкуренция на рынке товаров и услуг, то это — топ-менеджеры конкурирующих фирм (совместно с их персоналом). Третий и четвертый контуры

управления образованы прямыми и обратными связями между управляющими субъектами противостоящих сторон. При этом каждый управляющий субъект выступает в качестве управляемого объекта для противоположной стороны.

В вышеуказанном понимании, рефлексивное управление всегда носит взаимно отражательный характер: «А» думает, что «В» предполагает, что «А» примет решение, рассчитывая на то, что «В» ответит... и т.д. Следовательно, для того чтобы осуществлять рефлексивное управление каждая сторона должна, прежде всего, установить, в какой мере другая сторона склонна и способна следовать той или иной своей стратегии и на этой основе принять решение относительно своей стратегии.

Такое понятие склонности формально и количественно выражается *субъективной вероятностью*. Для ответа на вопрос: «Какой из своих возможных стратегий склонна придерживаться сторона «Б» в данный момент и в данной ситуации?», сторона «А» должна определить и оценить возможности, стиль поведения и мотивы стороны «Б», а так же умение «Б» осуществить каждую свою стратегию. Значит, исходная (априорная) субъективная оценка вероятности реализации той или иной стратегии каждой из сторон должна опираться на ретроспективу, в том числе и на результаты маркетинга. Но, кроме того, субъективная вероятность включает и *рефлексивную оценку* субъективной вероятности предполагаемого поведения другой стороны. Каждая из сторон в каждой конкретной ситуации выбирает свою стратегию (например, сторона «А» – i -ю стратегию) в расчете на то, что другая сторона применит вполне определенную стратегию (например, j -ю для «Б»). И при этом каждая сторона сама (то есть субъективно) оценивает субъективную вероятность (P) выбора стратегии противником по так называемой *схеме рефлексии*: «в сложившейся ситуации, по мнению стороны «А» сторона «Б» с вероятностью P_i выберет стратегию j ».

Как известно [16, 23, 26], рефлексия имеет разную глубину, что можно пояснить символикой:

$$\dot{P}^{(A)}(B) = P\left(B\left(\dot{P}_A^{(B)}\left(\ddot{P}_B^{(A)},\left(\ddot{P}_A^{(B)}\dots\right)\dots\right)\right)\right). \quad (2.36)$$

Верхний индекс справа от P указывает сторону, оценивающую выбор другой стороны, на которую указывает нижний индекс у P . Символ « $\dot{\cdot}$ » над P означает оценку, символ « $\ddot{\cdot}$ » – оценку

оценки, символ «...» – оценку оценки оценки. Левая часть (2.18) читается так: «Субъективная оценка стороной «А» вероятности выбора стороной «Б» некоторой стратегии вычисляется как ...». И при этом правая сторона читается так: «Субъективная вероятность выбора стороной «Б» своей стратегии, определяемая субъективной вероятностью $P_A^{(Б)}$ оценки со стороны «Б» субъективной вероятности выбора стороной «А» такой стратегии, которая определяется субъективной вероятностью $P_B^{(А)}$ оценки со стороны «А» выбора стороной «Б» той стратегии, которая, в свою очередь, определяется... и т.д.».

В рефлексивном управлении исключительно важная роль принадлежит мотивации, которая определяет как цель, так и содержание этого процесса. Особую значимость здесь приобретает «мотивирующая дезинформация» совместно с комплексным противодействием менеджменту конкурента, осуществляемая, например, показом ему ложных сведений о своих намерениях, передачей ему специальной информации, мотивирующей его поведение, подавлением его источников информации, защитой собственных информационных каналов. Эти и другие мероприятия должны быть рассчитаны на то, что конкурирующая сторона неадекватно оценит состояние рынка и примет неверное (несоответствующее реальной ситуации) решение о стратегии и тактике своего поведения. Обязательным условием дезинформации является ее «правдоподобность», обеспечивающая преодоление «фильтров», которые помогают конкуренту выделять истинную информацию из общей массы собираемой.

Для рефлексивного управления характерна неопределенность результатов управления (одна сторона может не принять или не понять сигналы от другой стороны, или, поняв их и их значение, реагировать на них в своих интересах). В результате рефлексивное управление становится недействительным. Для учета такой неопределенности введем две субъективные вероятности:

- p_A – субъективная вероятность того, что в результате анализа сторона «А» воспримет мотивирующую информацию от стороны «Б» и включит ее в свой контур управления;

- p_B – субъективная вероятность того, что в результате анализа сторона «Б» воспримет мотивирующую информацию от стороны «А» и включит ее в свой контур управления;

Тогда $(1 - p_A)$ – будет субъективная вероятность того, что сторона «А» не воспримет мотивирующую информацию от стороны «Б» и не включит ее в свой контур управления, а $(1 - p_B)$ – субъективная вероятность того, что сторона «Б» не воспримет мотивирующую информацию от стороны «А» и не включит ее в свой контур управления.

Таким образом, неопределенность рефлексивного управления для каждой стороны, ведущей рефлексивное управление, характеризуется матрицей субъективных вероятностей вида

$$\begin{vmatrix} p_A & (1 - p_A) \\ p_B & (1 - p_B) \end{vmatrix}. \quad (2.37)$$

Немаловажными свойствами рефлексивного управления являются его динамичность, изменчивость. Взаимная рефлексия становится эффективной только в том случае, когда каждый ее шаг сопровождается вариациями в способах мотивации поведения противника и обработки поступающей (добываемой) информации, а также в приемах ведения дезинформации. При этом для стороны, ведущей рефлексивное управление, важно не только отслеживать поведение конкурента и реагировать на его действия, но и упреждать (прогнозировать) его намерения, периодически вводя в заблуждение относительно собственных намерений.

4.3. ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РЕФЛЕКСИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ

При модельном описании процесса рефлексивного управления будем исходить из того, что лицу, предпринимающему попытку такого описания, доступны (пусть не в полном объеме) характеристики рефлексиирующих сторон и управляемого процесса.

В основу феноменологической модели рефлексивного управления (рис. 2.14) положено представление стороны «А», ведущей рефлексивное управление, в виде трех функциональных подсистем [28]. Одна подсистема моделирует себя, другая – моделирует конкурента (сторону «В»), третья – контролирует весь процесс и принимает решения. При таком представлении каждый шаг рефлексивного управления, протекающий на некотором интервале времени $[t_0, t_4]$, расчленяется на этапы: $[t_0, t_1]$ – рефлексивный маркетинг; $[t_1, t_2]$ – мотивирование конкурента; $[t_2, t_3]$ – контрольный маркетинг; $[t_3, t_4]$ – корректировка рефлексии.

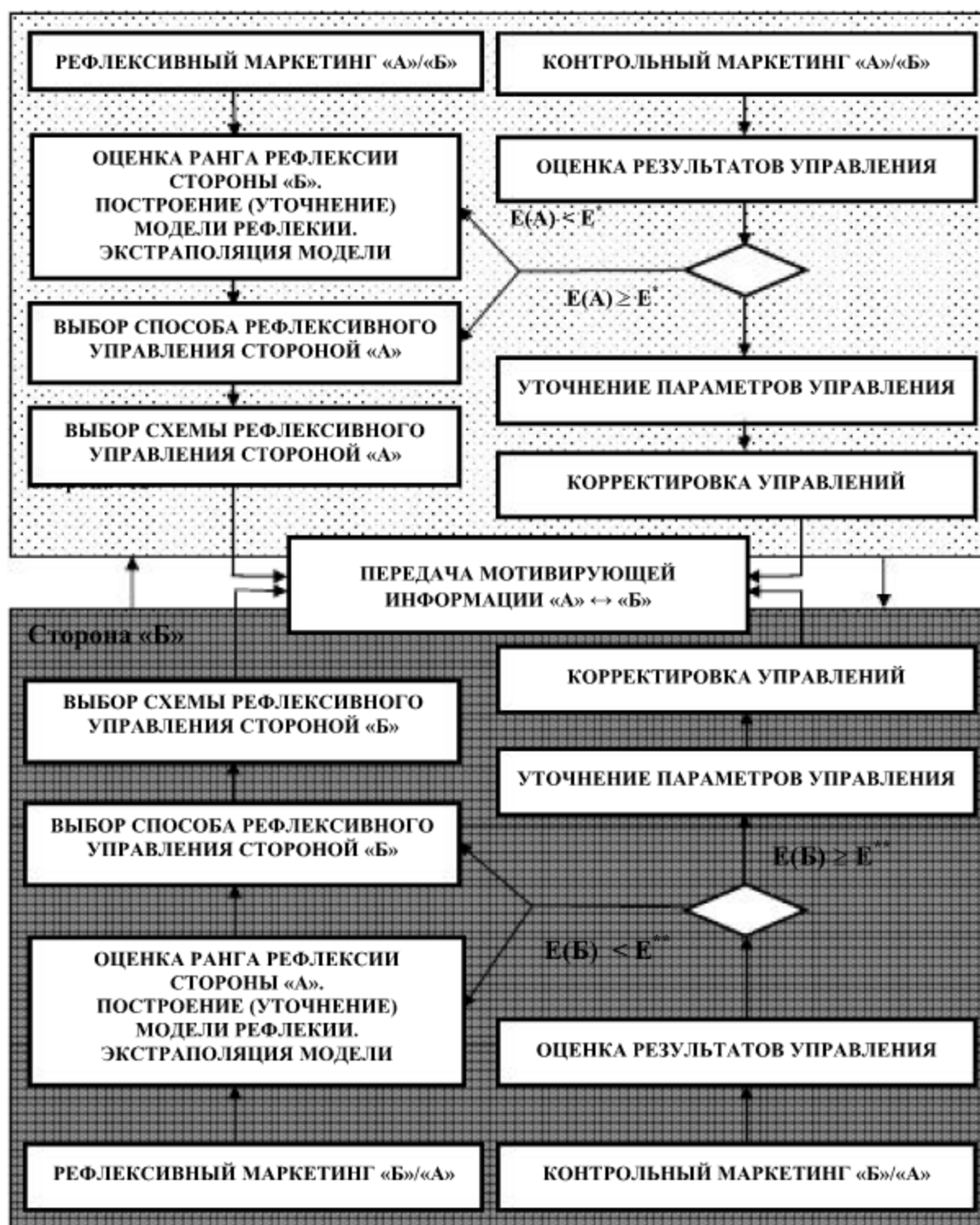


Рис. 2.14. Феноменологическая модель взаимного рефлексивного управления

На этапе рефлексивного маркетинга сторона «А» определяет состояние управляемого процесса и добывает информацию о параметрах стороны «В», влияющих на эффективность действия рефлексирующей стороны – E_A , и устанавливает закон изменения этих параметров во времени. Конечная цель рефлексивного маркетинга состоит в построении прогнозных моделей развития процесса и функционирования стороны «В», которые экстраполируются на период времени $[t_2, t_4]$ и используются для выбора стра-

тегии рефлексивного управления, то есть выбора способа и схемы рефлексивного управления (см. следующий раздел).

После выбора стратегии на этапе $[t_1, t_2]$ сторона «А» передает стороне «В» такую информацию, которая формирует у нее модель ситуации, выгодную стороне «А». Расчет прост: если сторона «В» сочтет переданную ей информацию истинной, то она сама сформирует поведение, нужное стороне «А». В ходе контрольного маркетинга сторона «А» также добывает и обрабатывает данные о параметрах стороны «В», дополняет прогнозную модель и устанавливает ее отклонение от ранее сформированной модели.

Если это отклонение невелико и прогнозируемые оценки эффективности E_A не выходят за допустимый предел ($E(A) \geq E^*$), то на интервале $[t_3, t_4]$ реализуется стратегия, сформированная ранее с незначительными оперативными корректировками. Если оценка E_A выходит за допустимый предел ($E(A) < E^*$), то выбираются новые способ и схема рефлексивного управления, и алгоритм повторяется.

Рассмотренное выше касалось поведения одной из конкурирующих сторон. В общем случае рефлексивное управление ведется с учетом того, что другая сторона тоже может вести рефлексивное управление. Для модельной имитации такого процесса поведение другой стороны описывается аналогичным алгоритмом, работа которого совмещается с алгоритмом функционирования первой стороны. В итоге получается процесс параллельного (совместного) функционирования двух алгоритмов, мысленная или компьютерная реализация которого позволяет «проиграть» различные варианты поведения сторон во всевозможных ситуациях взаимного рефлексивного управления. Для этого каждому шагу процесса рефлексивного управления $[t_0, t_4]$, то есть каждому сочетанию применения сторонами стратегий (например, i -й со стороны «А» и j -й со стороны «Б»), можно сопоставить шестиместный картеж [26]

$$\langle P_i^A, \dot{P}_{ij}^B, E_{ij}(A), E_{ij}(B), \dot{E}_{ij}(A), \dot{E}_{ij}(B) \rangle, \quad (2.38)$$

где P_i^A – субъективная вероятность (даваемая в оценке стороной «А») применения стороной «Б» стратегии j ; \dot{P}_{ij}^B – рефлексивная оценка стороной «Б» субъективной вероятности применения стороной «А» стратегии i ; $E_{ij}(A), E_{ij}(B)$ – эффективности «А» и «Б»

при сочетании стратегий i и j ; $\dot{E}_{i,j}(A), \dot{E}_{i,j}(B)$ – рефлексивные оценки одной стороной эффективности другой стороны.

Используя (2.38), можно каждый шаг рассматриваемого процесса охарактеризовать *рефлексивными матрицами* $RM(A)$ и $RM(B)$. Так, для стороны «А» такая матрица изображена на рис. 2.15.

$RM(A) =$

<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="border-bottom: 1px solid black; border-right: 1px solid black; padding: 5px; margin-right: 5px;">«А»</div> <div style="border-bottom: 1px solid black; padding: 5px;">«Б»</div> </div>	 j
	 P _i
i	P _j M ^k _{i,j}

Рис. 2.15. Рефлексивная матрица для стороны «А»

Каждый элемент этой матрицы $M_{i,j}^k$ представляет собой субматрицу, которая для стороны «А» выглядит так

$$M_{i,j}^k(A) = \left\| \begin{array}{cc} E_{i,j}(A) & E_{i,j}(B) \\ \dot{E}_{i,j}(A) & \dot{E}_{i,j}(B) \end{array} \right\|. \quad (2.39)$$

Если удастся найти объединяющие функции, например, вида $\Phi_{i,j}^k(A) = E_{i,j}(A) - E_{i,j}(B)$; $\dot{\Phi}_{i,j}^k(A) = \dot{E}_{i,j}(A) - \dot{E}_{i,j}(B)$, то субматрица (2.39) приобретает следующий вид

$$M_{i,j}^k(A) = \left\| \begin{array}{c} \Phi_{i,j}^k(A) \\ \dot{\Phi}_{i,j}^k(A) \end{array} \right\|. \quad (2.40)$$

Рефлексивные матрицы оказались удобным аппаратом описания и анализа процессов взаимного рефлексивного управления.

4.4. СПОСОБЫ И СХЕМЫ РЕФЛЕКСИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Рефлексивное управление является универсальным способом выбора стратегий в конкурентной борьбе. Его достоинство заключается в гибком сочетании силового и информационного давления на противника, когда победа достигается не только силой, но и

умом. Способность осуществлять рефлексивное управление – признак талантливого менеджера, умеющего поставить под контроль «волю случая» путем навязывания конкурирующей стороне желаемый ему способ действия. Вместе с тем можно рекомендовать типовые способы и схемы практической реализации рефлексивного управления (табл. 2.2) [28].

Т а б л и ц а 2.2. Способы и схемы рефлексивного управления

СПОСОБЫ РЕФЛЕКСИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ		
Скрытие и искажение истинной экономической ситуации	Формирование цели конкурента	Демонстрация конкуренту ложных намерений
Формирование доктрины конкурента	Навязывание конкуренту своей точки зрения на экономическую ситуацию	Создание у конкурента ложных представлений о своем состоянии
СХЕМЫ РЕАЛИЗАЦИИ РЕФЛЕКСИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ		
Маскировка	Дезинформация	Провокация
Информационная диверсия	Обучение	Информационная блокада
Управление рефлексией (воздействие на механизмы принятия решений)		
Воздействие на слой генерации альтернатив	Воздействие на слой анализа альтернатив	Воздействие на слой выбора альтернатив

Рефлексивное управление посредством скрывания и искажения истинной экономической ситуации. Это один из наиболее эффективных и распространенных способов рефлексивного управления в ходе конкурентной борьбы. Он заключается в том, что бы доставить конкуренту вполне определенную информацию о своем состоянии, которая бы мотивировала его поведение в заданном направлении, а не ликвидировать вообще поступление любой информации. Это способ реализуется путем передачи конкуренту информации типа «на рынке все спокойно, мы ничего нового не предпринимаем». Создание у конкурента ложных представлений о своем состоянии является другой разновидностью такого управления.

Рефлексивное управление посредством формирования цели конкурента. Цель – это желаемый результат действия. Задача заключается в том, чтобы сформировать у конкурента наиболее благоприятную для себя цель его действий в той или иной рыночной ситуации. Такой способ реализуется, например, в виде провокации, идеологической диверсии, коварного «дружеского совета» и т. д.

Рефлексивное управление посредством формирования доктрины конкурента. Под доктриной будем понимать оперативное

средство, в простейшем случае – алгоритм, посредством которого из цели «вырабатывается» решение. Иногда доктрина предстает в вырожденном виде как система элементарных предписаний, например, в виде импликаций (если «А», то «Б», или если «А», то и «Б» и «В» и «Г»). Наиболее распространенный и эффективный прием формирования доктрины конкурента заключается в его обучении. Например, на рынок в течение некоторого промежутка времени регулярно выбрасывается партия товара с достаточно низкой конкурентоспособностью, не представляющей экономической угрозы конкуренту. Конкурент привыкает к такому положению вещей и у него закрепляется данное действие как стандарт поведения противостоящей стороны, что и используется последней для достижения успеха в решающий момент: на рынок начинает поступать добротный товар, пользующийся повышенным спросом.

Рефлексивное управление посредством демонстрации конкуренту ложных намерений. В динамике конкурирующего рынка следует различать цели разных степеней значимости. Например, «глобальная цель» может заключаться в том, чтобы обанкротить конкурента и овладеть его имуществом. Эта цель формируется до начала конфликтного взаимодействия и может сохраняться до его конца. Частная же цель может состоять в том, чтобы, например, «вытеснить конкурента с определенного сегмента рынка», «овладеть ценными бумагами конкурента», «отрезать его от источников информации» т.д. Эти частные цели возникают в процессе экономического противоборства как следствие отражения некоторой локальной ситуации, и один из конкурентов может использовать это обстоятельство в своих интересах. Например, можно сознательно ослабить свою деятельность на определенном сегменте рынка таким образом, чтобы конкурент смог это увидеть. Тем самым попытаться передать противнику основания для принятия ложного решения о том, что этот сегмент освобождается и на нем не планируется проведение серьезных экономических операций, хотя на самом деле основные усилия будут сосредоточены именно в этом месте.

Рефлексивное управление посредством навязывания конкуренту своей точки зрения на экономическую ситуацию. Такое навязывание может быть осуществлено сознательным сбросом конкуренту соответствующей информации, например о собст-

венном финансовом положении. Кроме того, рефлексивным управлением такого типа будет «подтверждение» того, что замаскированные намерения конкурента не вскрыты (хотя на самом деле они вскрыты), а «ложные намерения» конкурента восприняты как «настоящие», хотя на самом деле их ложность установлена и учитывается при планировании собственного поведения.

Рефлексивное управление путем создания у конкурента ложных представлений о своем состоянии. Сущность этого способа заключается в том, чтобы информационными действиями сформировать у конкурента завышенную или заниженную оценку собственного экономического состояния. В принципе это возможно, поскольку любая оценка относительна и субъективна. Следовательно, речь идет о том, чтобы представить конкурирующей стороне такую (вполне объективную) экономическую информацию, основываясь на которой он либо недооценит, либо переоценит собственные возможности. Как в том, так и в другом случае, принимаемые им управленческие решения будут неадекватны истинному положению дел.

Рефлексивное управление может быть простым и сложным. До сих пор приводилось описание простого рефлексивного управления, сводящегося к воздействию только на процесс отображения обстановки (ситуации) в системе управления. Сложное (и более глубокое) рефлексивное управление заключается в воздействии на механизмы принятия решения. Речь идет об управлении самой рефлексией. Такое управление может реализовываться целенаправленным воздействием на психику управленческого персонала конкурирующей фирмы, например, рекламными, пиаровскими и другими способами, которые ориентируют их деятельность в направлении, нужном для того, кто ведет рефлексивное управление [24]. При этом точками воздействия являются (см. рис. 2.16):

- слой генерации альтернатив, в результате чего у субъекта, подвергшемуся рефлексивному воздействию, либо сужается круг альтернативных вариантов решений, либо из числа альтернатив исключаются наиболее важные (с точки зрения эффективности) варианты решений (нарушается процесс концептуализации и структуризации проблем);

- слой анализа альтернатив, в результате чего данному субъекту навязываются результаты анализа, выгодные стороне, осу-

ществляющей рефлексивное управление (нарушается процесс анализа проблем);

- слой выбора, в результате чего у субъекта воздействия подменяются критерии выбора решений, причем так, чтобы новые критерии выбора были выгодны стороне, ведущей рефлексивное управление (нарушается алгоритм выбора рациональных решений).



Рис. 2.16. Точки воздействия при реализации сложного рефлексивного управления путем воздействия на индивидуальную или коллективную психику

Еще более сильный эффект получается при целенаправленном рефлексивном управлении духовной основой личности или группы. При этом точками приложения таких воздействий являются (рис. 2.17):

- слой понятий, в результате чего у личности или группы, подвергнутой воздействию (1), происходит подмена или искажение сути понятий;

- слой целевых функций, в результате чего у личности или группы, подвергнутой воздействию (2), происходит либо деформация дерева целей, либо ей навязываются иные целевые функции, выгодные для стороны, осуществляющей информационное воздействие;

- слой критериев, в результате чего у личности или группы, подвергнутой воздействию (3), формируются критерии принятия

решений, выгодные для стороны, осуществляющей информационное воздействие;

- слой ограничений, в результате чего у личности или группы, подвергнутой воздействию (4), происходит искажение или подмена системы моральных, этических, духовных и иных норм.

Рассматривая вопросы управления духовной основой, мы исходили из чисто информационного характера этих управлений. Вместе с тем известно, что существуют иные более эффективные, но практически неизученные, способы воздействия на индивидуальную и коллективную духовную основу, в частности, такие как массовый гипноз, эффект толпы, медитация. Несомненно, что механизмы реализации этих способов должны стать предметом дальнейших исследований в той отрасли знания, которая называется «информационная война».



Рис. 2.17. Точки информационного воздействия реализации сложного рефлексивного управления путем воздействия на индивидуальную или коллективную духовную основу

Таким образом, можно заключить, что существует достаточное количество способов и схем практической реализации рефлексивного управления. Если попытаться провести их ранжиро-

вание, то следует констатировать, что наиболее действенными являются способы и схемы, реализующие сложное рефлексивное управление. Вместе с тем, если учитывать системный характер обработки информации субъектами, подвергающимися рефлексивному воздействию, то наиболее целесообразным следует признать комплексное управление, сочетающее все рассмотренные выше способы и схемы. При этом следует варьировать как способы, так и схемы рефлексивного воздействия таким образом, чтобы управляемая сторона не успевала адаптироваться к постоянно изменяющимся условиям функционирования.

4.5. МОДЕЛЬ РЕФЛЕКСИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ С ПОДРАЖАТЕЛЬНЫМ МЕХАНИЗМОМ

В своей основе рефлексивное управление с подражательным механизмом – это самоорганизующееся управление, в той его простейшей разновидности, которое реализуется в социальных и экономических системах лишенных лидера (центра). Типичным примером такой системы является стихийный (нерегулируемый) рынок. Основной операцией D , совершаемой на таком рынке, является единичный акт купли-продажи, характеризующийся картежом

$$\langle C_1, C_2, C \rangle, \quad (2.41)$$

где C_1 – опорная цена продавца, ниже которой ему невыгодно продавать свой товар; C_2 – предельная цена, за которую покупатель может приобрести товар, отказываясь его покупать по более высокой цене; C – цена, которая была реализована в акте купли – продажи.

Если такой акт совершился, то $C_1 \leq C \leq C_2$. При этом конкретное значение C формируется в результате некоторого процесса (торга), протекающего в конкретной паре покупатель – продавец. Причем покупатель может свободно получать информацию о ценах, которые требуют за свой товар конкуренты, а продавец – анализировать цены, складывающиеся на рынке. Никто не заставляет покупателя выбирать именно этого продавца, а продавца – именно этого покупателя.

Таким образом, с помощью изменения цен на товары и тот и другой как бы управляют процессом купли-продажи. При этом предполагается, что рынок бездефицитный (соблюдается баланс

спроса и предложения), и единичные акт купли – продажи, совершаемые данным продавцом не коррелированы между собой.

Будем для определенности полагать, что класс покупателей есть объект управления, а класс продавцов – управляющая система, цель которой – продать весь имеющийся у них товар, и тем самым исключить ситуацию затоваривания рынка. Эта общая цель мало интересует каждого конкретного продавца. Она как бы разлагается на индивидуальные цели отдельных продавцов – продать именно тот товар, который они выставили на рынок, и по возможности получить максимальный доход от этой операции.

Если теперь зафиксировать закон изменения цен в процессе торговли между покупателями и продавцами и учесть, что цель продавца – максимизировать C при ограничении $C \geq C_1$ и продать как можно больше товара, то эта цель может быть достигнута если продавец будет изменять по заданному закону величину назначаемой за товар цены, начиная с некоторой цены C^* , определяемой начальным состоянием продавца (например, значением продажной цены, которое было установлено априори), до величины его опорной цены C_1 . При этом отказ очередного покупателя от покупки товара по запрашиваемой цене снижает эту цену на основании определенного закона изменения цен. Каждый продавец действует как бы автономно. Множество покупателей и другие продавцы выступают для него как некоторая среда, подающая ему сигналы о необходимости снижения или повышения цен.

Формализация модели. Пусть 0SK – одноуровневая система-рынок, состоящая из субъектов-продавцов ${}^1S_i, i = \overline{1, N}$, в которой управление осуществляется децентрализованным образом путем копирования субъектами действий друг друга. Причем в ходе такого копирования субъекты 1S_i оценивают и разделяют операции, выполняемые соседями на отрицательные и положительные. Отрицательные операции, снижающие эффективность элементов, не копируются и отсеиваются, а положительные операции, повышающие эффективность элементов, закрепляются, дифференцируются и постепенно согласуются («зацепляются») между собой, в результате чего формируется целенаправленное поведение такой системы. Каждый субъект 1S_i имеет возможность выбирать операцию D_i из строго ограниченного множества $Q = \{D_i\}$. Выбор субъектом 1S_i той или иной операции может

быть как случайным (RAND), так и реакцией на изменения воздействия среды (Ξ), например, на резкое падение платежеспособности населения или на изменения в налоговом законодательстве. В этом смысле $\Xi = \{\xi_i\}$ следует рассматривать как внешнее управление 0SK .

В достаточно многочисленных 0SK самопроизвольно, на базе механизмов случайного выбора и подражания, формируются группы субъектов, выполняющие однотипные операции (например, торгующие однотипными товарами) – происходит сегментация системы-рынка. Когда число таких групп существенно превышает число функций 0SK , происходит распад отдельных групп. Но, за счет случайного выбора, это не меняет близкую к единице вероятность выполнения всех необходимых для 0SK функций, то есть рынок не монополизирован.

Такое управление назовем рефлексивным с подражательным стохастическим механизмом. Алгоритм такого управления представлен на рис. 2.18.

Показанные на рисунке блоки «оценка» реализуются по принципу естественного отбора (конкурентного исключения): субъекты, выполняющие бесполезные операции, впустую расходуют свой ресурс и теряются для 0SK (банкротятся) и, наоборот, субъекты, повышающие эффективность 0SK , успешно продолжают свое функционирование.

Для осуществления такой оценки будем использовать следующие критерии. Операция D_i , выполняемая субъектом 1S_i , считается рациональной («хорошо»), если выполняется условие

$$E_{\min}(\xi) \leq \Delta E_i(D_i) \leq E_{\max}(\xi), \quad (2.42)$$

где величины $\Delta E_i(D_i)$, $E_{\min}(\xi)$, $E_{\max}(\xi)$ интерпретируются применительно к системе-рынку следующим образом:

$\Delta E_i(D_i) = E_{1i}(D_i) - E_{2i}(D_i)$ – доход, полученный субъектом 1S_i на заданном интервале времени при использовании им операции D_i ; $E_{1i}(D_i)$ – прибыль, полученная 1S_i , выраженная в виде объема товаров (в денежном исчислении), реализованных этим субъектом на заданном интервале времени при использовании операции D_i ; $E_{2i}(D_i)$ – суммарные затраты (в денежном исчислении), которые понес субъект 1S_i при реализации указанного объема товаров;

$E_{\min}(\xi)$ – минимально допустимый доход¹ S_i , при котором обеспечивается его жизнеспособность в условиях данного рынка при определенных внешних управлениях (например, при фиксированной покупательной способности населения);

$E_{\max}(\xi)$ – максимально возможный доход¹ S_i , который он может получить в условиях данного рынка при заданных внешних управлениях (например, при действующем налоговом законодательстве).

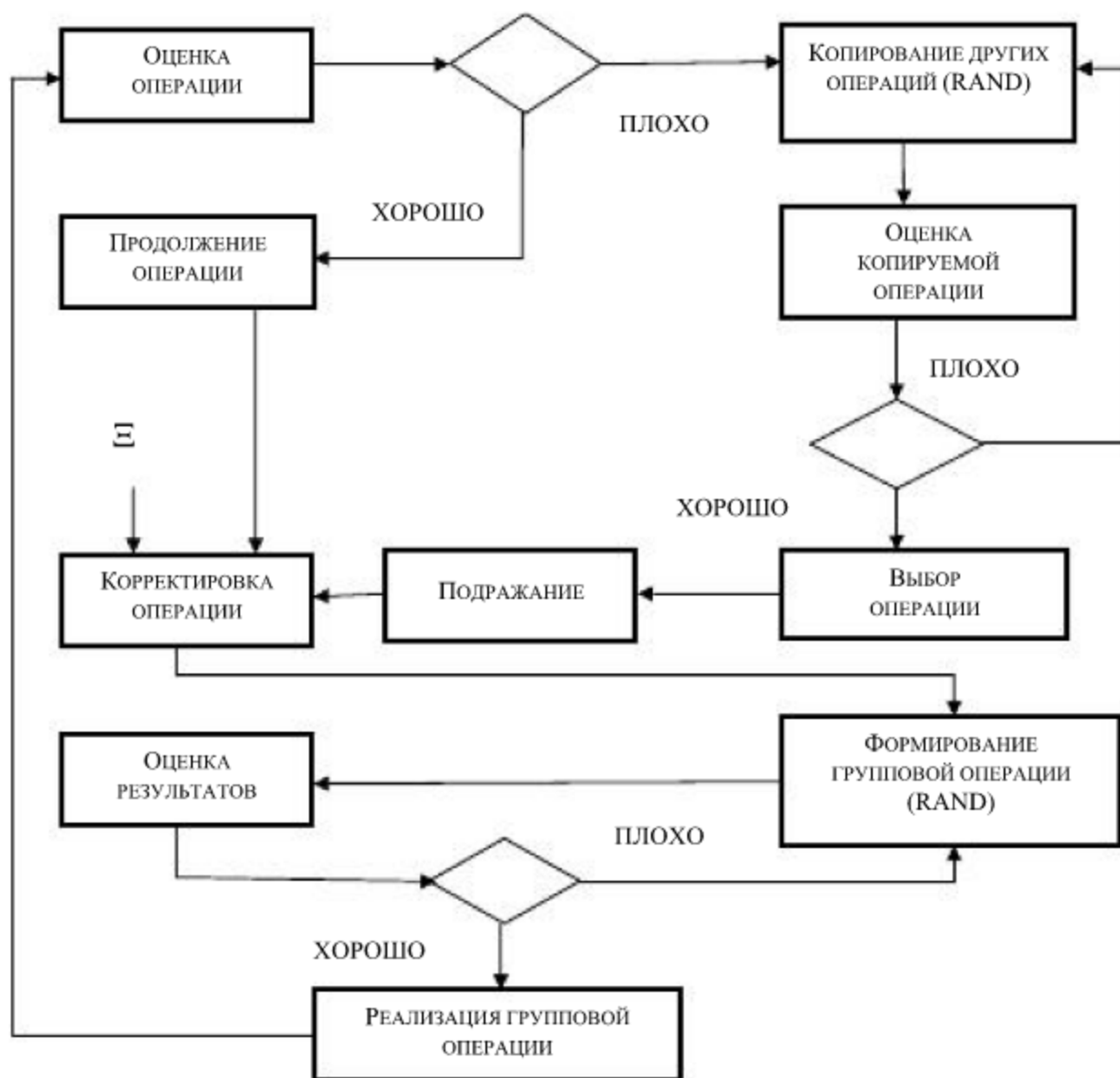


Рис. 2.18. Алгоритм рефлексивного управления с подражательным механизмом

Операция D_i , выполняемая субъектом¹ S_i , считается нерациональной («плохо»), если выполняется условие

$$\Delta E_i(D_i) < E_{\min}(\xi). \quad (2.43)$$

Указанные критерии и алгоритм рис. 2.16 позволяют составить уравнение динамического равновесия для системы 0SK пу-

тем следующих рассуждений. Вначале все субъекты 1S_i выбирают операции D_i из множества Q случайным образом, отталкиваясь от равномерного распределения вероятностей. Те «удачливые» 1S_i , которые при этом выбрали операции, отвечающие критерию (2.42), повышают свою эффективность и потому сохраняют выбранный способ действия. Остальные 1S_i , у которых $\Delta E_i(D_i) < E_{\min}(\xi)$, в силу именно этого условия, меняют способ действия, копируя поведение других субъектов и осуществляя свой выбор в соответствии с распределением вероятностей $\omega(U)$, которое может последовательно изменяться при увеличении числа 1S_i , переходящих к эффективным операциям. Таким образом, мы имеем последовательный самообучающийся процесс байесовского типа, в котором апостериорная плотность распределения «удачных» выборов $\omega(U/E)$ после получения эмпирической информации E определяется выражением

$$\omega(U/E) = \frac{\omega(U)\omega(E/U)}{\omega(E)}, \quad (2.44)$$

где N ; $\omega(E)$ – плотность распределения вероятности эмпирического свидетельствования информации E ; $\omega(E/U)$ – плотность распределения степени правдоподобия этого свидетельствования.

Заметим, что $\omega(E/U)$ – субъективная вероятность, зависящая от консерватизма субъекта в плане восприятия им новой информации. Поэтому при высокой степени консерватизма субъект не будет менять свою первоначальную точку зрения независимо от того, какая информация к нему поступает. И наоборот, если субъект не склонен к консерватизму, то он может сделать заключения, связанные с завышенной оценкой правдоподобия гипотезы. В процессе такого самообучения число «удачливых» 1S_i увеличивается до тех пор, пока растет эффективность 0SK вплоть до установления состояния динамического равновесия.

Для этого состояния характерно такое распределение операций между 1S_i , при котором

$$\sum_{i=1}^{N_1} E_i(D_1) + \sum_{i=1}^{N_2} E_i(D_2) + \dots + \sum_{i=1}^{N_Q} E_i(D_Q) \rightarrow \max, \quad (2.45)$$

где N_1, \dots, N_Q – количество 1S_i , выполняющих соответственно операции D_1, \dots, D_Q , охватывающие все множество операций $Q = \{D_i\}$, необходимых для жизнедеятельности 0SK ; $\sum_{q=1}^Q N_q = N$.

Если при этом нас интересует эквитабильность (выравненность) 0SK , то на (2.45) накладывается ограничение

$$\left(-\frac{1}{\ln N} \sum_{i=1}^N p_i \ln p_i \right) \geq \theta, \quad (2.46)$$

где p_i – нормированные $\left(\sum_{i=1}^N p_i = 1 \right)$ величины, характеризующие

относительную важность различных сегментов рынка; θ – норма эквитабильности рынка, принимающая значение от 0 до 1.

Компьютерная реализация модели рефлексивного управления с подражательным механизмом. Для компьютерной реализации описанной выше модели представим каждый субъект 1S_i единичным автоматом A_k , а процесс их совместного функционирования будем имитировать как игру автоматов [10].

Будем полагать, что каждый единичный автомат A_k имеет n возможных состояний $\Phi_j \in \Phi, j = \overline{1, n}$ (Φ – алфавит состояний) и все они «погружены» в среду S , обладающую одним из i свойств $\psi_i \in \Psi$ (Ψ – алфавит свойств среды). В общем случае допускается, что свойства i изменяются по некоторому закону и тогда каждой ситуации из $\{\langle \Phi_j, \psi_i \rangle\}$, возникающей в моменты времени $t = 1, 2, \dots$, соответствует операция D_{ji} , совершаемая автоматом. Результатом такой операции может быть «выигрыш» или «проигрыш» автомата. Если обозначить операцию, совершаемую автоматом в ситуации $\langle \Phi_j, \psi_i \rangle$, через

$$D_{ji}(t) = G(\Phi_j(t), \psi_i(t)), \quad (2.47)$$

то последующее состояние автомата в момент времени $(t + 1)$ зависит от предыдущего следующим образом:

$$\Phi_j(t + 1) = H(\Phi_j(t), V(t + 1)), \quad (2.48)$$

где H – оператор формирования Φ_j ;

$$V = \begin{cases} 1, & \text{при выигрыше;} \\ 0, & \text{при проигрыше.} \end{cases}$$

Обозначим через ω способ выбора тем или иным автоматом некоторого состояния из алфавита Φ (пусть, в частности, ω_{ij} – вероятность перехода автомата из i -го в j -е состояние). При этом условии оказывается возможным, выбирая G , H и ω , исследовать процесс рефлексивного управления с подражательным стохастическим механизмом без каких-либо ограничений (кроме принятых уже алфавитов состояний автоматов и свойств окружающей среды).

Укрупненная блок-схема программного комплекса, реализующего модель такого управления, приведена на рис.2.19.

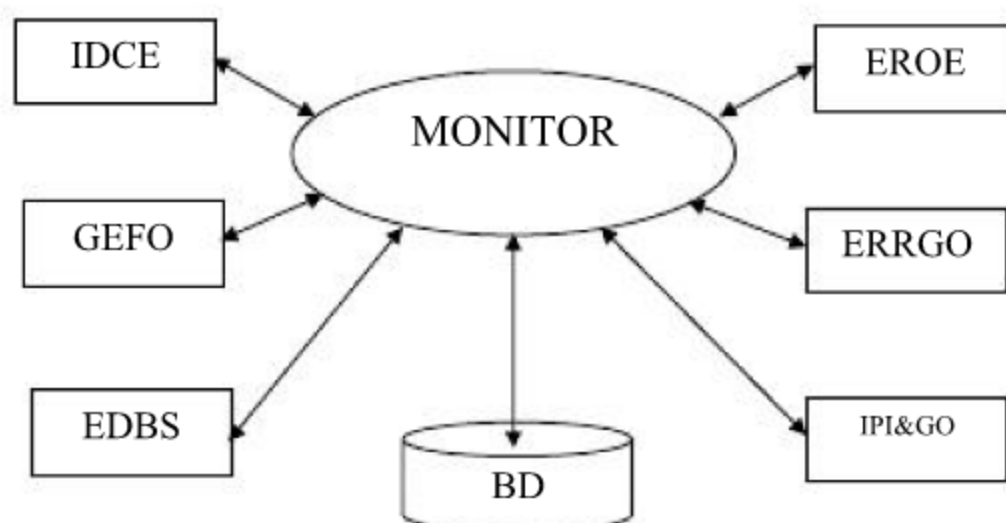


Рис. 2.19. Программный комплекс для моделирования процесса рефлексивного управления с подражательным механизмом

Он включает следующие программные компоненты:

- базу данных (BD) для хранения, модификации и проверке на корректность данных, необходимых для функционирования всех блоков программного комплекса;

- блок имитации динамики изменения состояний элементов (IDCE - *imitation dynamics conditions of elements*), согласно выражению (2.48);

- блок имитации выполнения индивидуальных и групповых операций (IPI&GO - *imitation performance individual and group operations*), предназначенный для расчета величин $\Delta E_i(D_i)$, $E_{1i}(D_i)$, $E_{2i}(D_i)$;

- блок оценки результатов операций, выполняемых элементами системы (EROE - *estimation results of the operations elements*), по критериям (2.42) и (2.43);

- блок группирования элементов системы и формирования групповых операций (GEFO - *grouping elements of system and formation of group operations*);

- блок оценки результатов реализации групповых операций (ERRGO - *estimation results realization of group operations*) по критериям (2.42) и (2.43) с заменой элементов их группами;

- блок оценки динамического равновесия системы (EDBS - *estimation dynamic balance of system*) по критерию (2.45), с учетом ограничения (2.46);

- блок MONITOR – лингвистический процессор, обеспечивающий интерактивное общение пользователя с комплексом программ. Его основная функция заключается в интерактивном планировании всего вычислительного процесса в соответствии с алгоритмом (рис. 2.19) и в представлении результатов моделирования.

Основные характеристики программного комплекса: тип – интерактивный, информационно-расчетный; минимальные требования к компьютеру – Pentium III, 128 MB RAM, Mouse, CD ROM; требования к программному обеспечению – ОС Windows 2000 (XP), Office XP (2003), Access 2000; используемые системы программирования – Visual Basic, C++, Delphi; объем на CD-диске без загрузки оперативной информацией – 360 MB; форма отображения выходной информации – текстовая, табличная, графическая; время визуализации и выдачи информации – не более 10-15с при полном алгоритме расчетов.

Рассмотренная модель рефлексивного управления вполне адекватно описывает поведение рынка, в котором самопроизвольно, на базе механизмов случайного выбора и подражания выполняются однотипные операции купли-продажи.

Показано, что подобные действия, совершаемые множеством продавцов, приводят к выравниванию их относительных доходов и соответственно цен на рынке. Если же увеличить количество информации, поступающей к продавцам, сообщая им, например, среднее значение цен на товары по всем уже совершенным актам купли-продажи или полную информацию о ценах по всем уже реализованным актам купли-продажи, то сходимость процесса

выравнивания цен на рынке будет иметь значительно большую скорость.

Примечательным в этой модели является то, что управление происходит с помощью коллектива почти автономных субъектов (продавцов), получающих информацию о действиях друг друга только через среду. И, тем не менее, такое весьма простое в структурном отношении и почти хаотическое управление приводит не только к удовлетворению всех локальных интересов продавцов, но и обеспечивает некоторый глобальный выигрыш всего рыночного коллектива – количество продаваемого товара стремится к максимуму.

Эффективность функционирования такого рынка тем выше, чем в большей степени он сегментирован, чем больше продавцов образуют каждый сегмент, и чем выше их способностью к самообучению. Поведение такого рынка весьма критично к внешним воздействиям. Рынок с некоторой задержкой отслеживает изменения внешней среды и только в определенных пределах таких изменений. Слишком резкие и быстрые изменения внешних воздействий не позволяют рынку достичь динамического равновесия, в результате чего рыночный процесс постоянно пребывает в переходном (неустановившемся) режиме. Негативным здесь является то, что при определенных условиях такой рынок может легко разрушиться, то есть его субъекты коллективно перейдут в состояние банкротства. В частности, такое явление может наблюдаться при нарушении баланса «спрос-предложение», выступающего в данной модели в качестве одной из характеристик внешней среды.

Хотя для каждого субъекта такого рынка есть некоторое рациональное значение эффективности (каждый продавец знает, что для него «хорошо», а что «плохо»), но, ни рынку, ни его субъектам неизвестны понятия цели, целевой функции, оптимальности. Им недоступен сознательный многоаспектный анализ ситуации, а индивидуальный и групповой выбор поведения опирается на случайный подражательный механизм. Это означает, что в неблагоприятно сложившихся обстоятельствах такая «целенаправленность» может действовать во вред как самому рынку, так и экономической системе, в которой он функционирует.

4.6. МОДЕЛИ РЕФЛЕКСИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ С МОТИВИРУЮЩИМ МЕХАНИЗМОМ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ ИХ СТАЦИОНАРНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ

Общий подход. Предположим, что имеется два экономических субъекта (1 и 2), осуществляющие взаимное рефлексивное управление с мотивирующим механизмом, в том его понимании, которое было изложено в разделах 4.2 и 4.3. Пусть эти субъекты имеют одинаковые ранги рефлексии $RR_1 = RR_2 = 1$, то есть каждый из них, выбирая свое управление, полагает, что другая сторона предпочитает не гарантированное поведение, а ведет аналогичное рефлексивное управление. Будем пока полагать, что если один из субъектов применяет некоторое мотивирующее управление по отношению к другому субъекту, то оно действительно, в том смысле, что управляемый субъект реагирует на управление со стороны управляющего субъекта, так как это задумывал управляющий субъект. Например, если субъекты ведут взаимное рефлексивное управление путем передачи друг другу дезинформирующей информации, то эта информация воспринимается ими как достоверная. Введем следующие обозначения: $E_1^0(t), E_2^0(t)$ – не отрицательно определенные функции, характеризующие изменения эффективности функционирования первого и второго субъектов во времени без ведения ими взаимного рефлексивного управления; t – текущее время; t^* – момент начала рефлексивного управления ($t^* > t$).

Тогда, математически этот процесс может быть описан с помощью двух рекурсивных функций

$$E_1^{RE}(t^*) = F(E_2^{RE}(t^*), E_1^0(t^*)); \quad (2.49)$$

$$E_2^{RE}(t^*) = \Phi(E_1^{RE}(t^*), E_2^0(t^*)), \quad (2.50)$$

где $F(.)$ и $\Phi(.)$ – известные функции, характеризующие изменение эффективности функционирования субъектов в результате взаимного управления.

Подставляя (2.50) в (2.49) и (2.49) в (2.50) получаем динамическую модель парного взаимного рефлексивного управления:

$$E_1^{RE}(t^* + \Delta_i) = F(\Phi(E_1^{RE}(t^*), E_2^0(t^*)), E_1^0(t^*)); \quad (2.51)$$

$$E_2^{RE}(t^* + \Delta_i) = \Phi(F(E_2^{RE}(t^*), E_1^0(t^*)), E_2^0(t^*)). \quad (2.52)$$

Смысл модели (2.51), (2.52) заключается в том, что изменение эффективности функционирования одного субъекта неминуемо влечет за собой изменение эффективности другого субъекта. При этом характер изменения эффективностей определяет тип взаимоотношений субъектов, ведущих рефлексивное управление. Возможны такие варианты:

- если в процессе реализации рефлексивного управления оба субъекта стремятся понизить эффективность функционирования друг друга, то приходим к ситуации рефлексивного противоборства, которая формально задается соотношением:

$$\left(\frac{\delta E_1^{RE}(t^*)}{\delta E_2^{RE}(t^*)} < 0 \right) \wedge \left(\frac{\delta E_2^{RE}(t^*)}{\delta E_1^{RE}(t^*)} < 0 \right); \quad (2.53)$$

- если оба субъекта ведут взаимное рефлексивное управление с целью повысить эффективность функционирования партнера, то имеем ситуацию рефлексивного содействия, формально задаваемую соотношением:

$$\left(\frac{\delta E_1^{RE}(t^*)}{\delta E_2^{RE}(t^*)} > 0 \right) \wedge \left(\frac{\delta E_2^{RE}(t^*)}{\delta E_1^{RE}(t^*)} > 0 \right); \quad (2.54)$$

- если цели рефлексивного управления у субъектов противоположны (один стремиться повысить эффективность функционирования второго, а второй старается понизить эффективность первого, и наоборот), то приходим к ситуации рефлексивной эксплуатации, которая формально задается соотношением:

$$\begin{aligned} & \left(\frac{\delta E_1^{RE}(t^*)}{\delta E_2^{RE}(t^*)} < 0 \right) \wedge \left(\frac{\delta E_2^{RE}(t^*)}{\delta E_1^{RE}(t^*)} > 0 \right) \vee \\ & \vee \left(\frac{\delta E_1^{RE}(t^*)}{\delta E_2^{RE}(t^*)} > 0 \right) \wedge \left(\frac{\delta E_2^{RE}(t^*)}{\delta E_1^{RE}(t^*)} < 0 \right). \end{aligned} \quad (2.55)$$

Основная особенность указанных типов рефлексивных взаимоотношений заключается в том, что субъекты не оказывают друг на друга физического воздействия. Достижение целей управления осуществляется путем передачи управляемому субъекту мотивирующей информации, то есть информации, вынуждающей его вести так, как это нужно стороне ведущей рефлексивное управление.

С формальной точки зрения рефлексивный процесс, описываемый (2.51) и (2.52), обладает свойством стационарности, если система уравнений (2.51), (2.52) имеет решение (E_1^*, E_2^*) и эти ре-

шения не являются нулевыми. Иными словами, для того, что бы процесс рефлексивного управления входил в некоторое стационарное (равновесное) состояние, необходимо, (но не достаточно) чтобы выполнялось двухкомпонентное условие

$$\{ \mathfrak{F}F(.) \cap \mathfrak{S}\Phi(.) \neq \emptyset \} \wedge \{ [E_1^* > 0] \wedge [E_2^* > 0] \}, \quad (2.56)$$

где $\mathfrak{F}F(.)$ и $\mathfrak{S}\Phi(.)$ – множество точек графиков функций (2.51) и (2.52) соответственно.

Таким образом, если множество точек пересечения графиков функций $F(.)$ и $\Phi(.)$ непусто и эти точки не являются нулевыми, то рефлексивный процесс, описываемый выражениями (2.51) и (2.52), может войти в стационарный режим, а сами точки пересечения будут точками стационарности или равновесия.

Содержательная сторона точек равновесия может интерпретироваться по-разному. Если в качестве рефлексизирующих сторон выступают субъекты рынка, то наличие равновесного состояния свидетельствует о том, что данный рынок в процессе функционирования не монополизирован, то есть в нем отсутствует явление конкурентного вытеснения. И наоборот, отсутствие равновесного состояния говорит о том, что на данном рынке доминируют процессы конкурентного вытеснения, и он неминуемо будет либо монополизирован, либо разрушен.

Описанные ситуации характерны для случая, когда $\{ \mathfrak{F}F(.) \cap \mathfrak{S}\Phi(.) \neq \emptyset \}$, а $\{ [E_1^* = 0] \vee [E_2^* = 0] \}$. В том случае, когда $\{ \mathfrak{F}F(.) \cap \mathfrak{S}\Phi(.) = \emptyset \}$, а $\{ [E_1^* > 0] \wedge [E_2^* > 0] \}$, рассматриваемый рынок постоянно находится в переходном неустановившемся режиме. Это нестабильный рынок, готовый либо монополизироваться, либо развалиться, либо войти в режим нормального (равновесного) функционирования. Путь, по которому будет развиваться такой рынок, с одной стороны, определяется внешними условиями (политикой государства, действенностью антимонопольного законодательства, налоговой политикой и т.п.), а, с другой стороны, характером внутренних взаимоотношений между его субъектами, их желанием и умением изыскивать компромиссы в процессе конкурентной борьбы.

Линейная модель взаимного рефлексивного управления. Предположим, что поведение функции $E_1^0(t)$ описывается дифференциальным уравнением

$$\frac{dE_1^0(t)}{dt} = E_1^0(t)r_1 \left(1 - \frac{E_1^0(t)}{E_1^{\text{MAX}}}\right), E_1^0(0) = E_1^0, \quad (2.57)$$

а поведение функции $E_2^0(t)$ – уравнением

$$\frac{dE_2^0(t)}{dt} = E_2^0(t)r_2 \left(1 - \frac{E_2^0(t)}{E_2^{\text{MAX}}}\right), E_2^0(0) = E_2^0, \quad (2.58)$$

где r_i – потенциал i -го субъекта, а E_i^{MAX} – его максимально возможная (потенциальная) эффективность.

Пусть, цель рефлексивного управления каждого из субъектов заключается в снижении эффективности функционирования соперника. Кроме того, будем предполагать, что взаимное влияние субъектов на эффективность функционирования друг друга характеризуется линейными функциями $F(\cdot)$ и $\Phi(\cdot)$. Тогда, в предположении, что шаг рефлексивного управления стремится к нулю, вместо (2.51) и (2.52) можно записать

$$\frac{dE_1^{\text{RE}}(t)}{dt} = E_1^{\text{RE}}(t)r_1 \left(1 - \frac{E_1^{\text{RE}}(t)}{E_1^{\text{MAX}}} - \alpha_{12} \frac{E_2^{\text{RE}}(t)}{E_2^{\text{MAX}}}\right), t \geq t^*; \quad (2.59)$$

$$\frac{dE_2^{\text{RE}}(t)}{dt} = E_2^{\text{RE}}(t)r_2 \left(1 - \frac{E_2^{\text{RE}}(t)}{E_2^{\text{MAX}}} - \alpha_{21} \frac{E_1^{\text{RE}}(t)}{E_1^{\text{MAX}}}\right), t \geq t^*, \quad (2.60)$$

где α_{12} ($0 < \alpha_{12} \leq 1$) и α_{21} ($0 < \alpha_{21} \leq 1$) – коэффициенты, служащие мерой относительного влияния субъектов друг на друга.

Очевидно, что если $(\alpha_{21} < E_2^{\text{MAX}}/E_1^{\text{MAX}}) \wedge (\alpha_{12} < E_1^{\text{MAX}}/E_2^{\text{MAX}})$, то процесс рефлексивного управления, описываемый (2.59) и (2.60), характеризуется единственным положением равновесия в точке (E_1^*, E_2^*) , координаты которой удовлетворяют системе линейных уравнений

$$\left. \begin{aligned} E_1^{\text{MAX}} - E_1^{\text{RE}}(t) - \alpha_{12} E_2^{\text{RE}}(t) &= 0; \\ E_2^{\text{MAX}} - E_2^{\text{RE}}(t) - \alpha_{21} E_1^{\text{RE}}(t) &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (2.61)$$

и равны

$$E_1^* = \frac{E_1^{\text{MAX}} - \alpha_{12} E_2^{\text{MAX}}}{1 - \alpha_{12} \alpha_{21}}; \quad (2.62)$$

$$E_2^* = \frac{E_2^{\text{MAX}} - \alpha_{21} E_1^{\text{MAX}}}{1 - \alpha_{12} \alpha_{21}}. \quad (2.63)$$

Если

$$(\alpha_{21} > E_2^{\text{MAX}}/E_1^{\text{MAX}}) \wedge (\alpha_{12} < E_1^{\text{MAX}}/E_2^{\text{MAX}}) \quad (2.64)$$

или

$$(\alpha_{21} < E_2^{\text{MAX}}/E_1^{\text{MAX}}) \wedge (\alpha_{12} > E_1^{\text{MAX}}/E_2^{\text{MAX}}) \quad (2.65)$$

или

$$(\alpha_{21} > E_2^{\text{MAX}}/E_1^{\text{MAX}}) \wedge (\alpha_{12} > E_1^{\text{MAX}}/E_2^{\text{MAX}}), \quad (2.66)$$

то нетрудно убедиться, что во всех трех случаях при соблюдении $\{\mathfrak{F}(\cdot) \cap \mathfrak{S}\Phi(\cdot) \neq \emptyset\}$ условие $\{[E_1^* \neq 0] \wedge [E_2^* \neq 0]\}$ не выполняется, то есть процесс рефлексивного управления будет стационарно неустойчивым.

Так в случае (2.64) первый субъект как более сильный всегда будет иметь превосходство в управлении над вторым субъектом, то есть $E_1^* = E_1^{\text{MAX}}$, а $E_2^* = 0$. При выполнении условия (2.65) всегда будет побеждать второй субъект, то есть $E_2^* = E_2^{\text{MAX}}$, а $E_1^* = 0$. В случае (2.66) в зависимости от стартовых условий (соотношения $E_1^0(t^*)$ и $E_2^0(t^*)$) победа будет либо на стороне первого, либо второго субъекта: если $E_1^0(t^*) > E_2^0(t^*)$, то $E_1^* = E_1^{\text{MAX}}$, если $E_1^0(t^*) < E_2^0(t^*)$, то $E_2^* = 0$, либо $E_2^* = E_2^{\text{MAX}}$, а $E_1^* = 0$.

Выше предполагалось, что механизм взаимного рефлексивного управления реализуется путем непосредственного влияния сторон на эффективность функционирования друг друга. Представляет интерес рассмотреть иной механизм взаимовлияния, а именно, когда взаимное рефлексивное управление реализуется путем изменения потенциалов сторон (r_i). В этом случае описание двухкомпонентного процесса рефлексивного управления дается уравнениями вида

$$\begin{cases} \frac{dE_1^{\text{RE}}(t)}{dt} = r_1(E_1^{\text{RE}}(t), E_2^{\text{RE}}(t)) \cdot E_1^{\text{RE}}(t); \\ \frac{dE_2^{\text{RE}}(t)}{dt} = r_2(E_1^{\text{RE}}(t), E_2^{\text{RE}}(t)) \cdot E_2^{\text{RE}}(t), \end{cases} \quad (2.67)$$

где $r_1(E_1^{\text{RE}}(t), E_2^{\text{RE}}(t))$ и $r_2(E_1^{\text{RE}}(t), E_2^{\text{RE}}(t))$ – потенциалы первого и второго субъектов, заданные как функции от их текущих эффективностей $E_1^{\text{RE}}(t)$ и $E_2^{\text{RE}}(t)$.

Предположим, что $r_1(E_1^{\text{RE}}(t), E_2^{\text{RE}}(t))$ и $r_2(E_1^{\text{RE}}(t), E_2^{\text{RE}}(t))$ удовлетворяют следующим требованиям:

а) потенциал первого субъекта возрастает, когда эффективность обоих субъектов мала (в пределе $r_1(\simeq 0, \simeq 0) > 0$);

б) с увеличением эффективности функционирования второго субъекта происходит снижение скорости роста как его собственного потенциала, так и потенциала второго субъекта, то есть

$$\left(\frac{\delta r_1(E_1^{\text{RE}}(t), E_2^{\text{RE}}(t))}{\delta E_2^{\text{RE}}(t)} < 0 \right) \wedge \left(\frac{\delta r_2(E_1^{\text{RE}}(t), E_2^{\text{RE}}(t))}{\delta E_2^{\text{RE}}(t)} > 0 \right); \quad (2.68)$$

г) при постоянном соотношении эффективностей первого и второго субъектов рост потенциала первого субъекта замедляется с увеличением эффективности второго субъекта, а рост потенциала второго субъекта ускоряется с увеличением эффективности первого субъекта, то есть при $E_1^{\text{RE}}(t)/E_2^{\text{RE}}(t) = \text{const}$

$$\left\{ \begin{array}{l} \left(\frac{\delta r_1(E_1^{\text{RE}}(t), E_2^{\text{RE}}(t))}{\delta E_2^{\text{RE}}(t)} E_1^{\text{RE}}(t) + \right. \\ \left. + \frac{\delta r_2(E_1^{\text{RE}}(t), E_2^{\text{RE}}(t))}{\delta E_2^{\text{RE}}(t)} E_2^{\text{RE}}(t) < 0 \right) \wedge \\ \wedge \left(\frac{\partial r_2(E_1^{\text{RE}}(t), E_2^{\text{RE}}(t))}{\delta E_1^{\text{RE}}(t)} E_1^{\text{RE}}(t) + \right. \\ \left. + \frac{\partial r_2(E_1^{\text{RE}}(t), E_2^{\text{RE}}(t))}{\delta E_2^{\text{RE}}(t)} E_2^{\text{RE}}(t) > 0 \right) \end{array} \right\}; \quad (2.69)$$

д) существует предельно низкая (критическая) эффективность первого субъекта E_1^{MIN} , при достижении которой второй субъект не может функционировать, то есть $r_2(E_1^{\text{MIN}}, 0) = 0$;

е) существуют предельно высокие эффективности функционирования первого и второго субъектов (соответственно E_1^{MAX} и E_2^{MAX} , после достижения которых рост их эффективностей прекращается, то есть $r_1(E_1^{\text{MAX}}, 0) = 0$; $r_2(0, E_2^{\text{MAX}}, 0) = 0$.

Как показано в [30], при выполнении этих требований необходимым и достаточным условием стационарной устойчивости рефлексивного процесса управления, описываемого системой (4.19), является выполнение неравенства

$$(E_1^{\text{MIN}} < E_1^{\text{MAX}}) \wedge (E_1^{\text{MAX}} \cong E_1^*), \quad (2.70)$$

где E_1^* – эффективность первого субъекта в стационарном состоянии процесса.

В том случае, когда $(E_1^{\text{MIN}} < E_1^{\text{MAX}})$, но $(E_1^{\text{MAX}} \gg E_1^*)$, анализируемый рефлексивный процесс постоянно находится в переходном режиме, его траектория в фазовом пространстве (E_1, E_2) описывает замкнутую (эллипсовидную) кривую (предельный

цикл) вокруг квазистационарной точки с координатами (E_1^*, E_2^*) , как это показано на рис. 2.20.

Теперь рассмотрим общий случай, когда в процессе рефлексивного управления участвуют не два, а N субъектов. Предположим, что при фиксированных внешних факторах каждый субъект ($i = 1, 2, \dots, N$) характеризуется своим потенциалом r_i и максимально возможной (потенциальной) эффективностью E_i^{MAX} . Причем в отсутствие управления со стороны других субъектов эффективность каждого из них $E_i^0(t)$ изменяется во времени по логистическому закону. Допустим также, что взаимное влияние субъектов на эффективность друг друга пропорциональна их эффективности, то есть для всех $i = 1, 2, \dots, N$ справедливо соотношение:

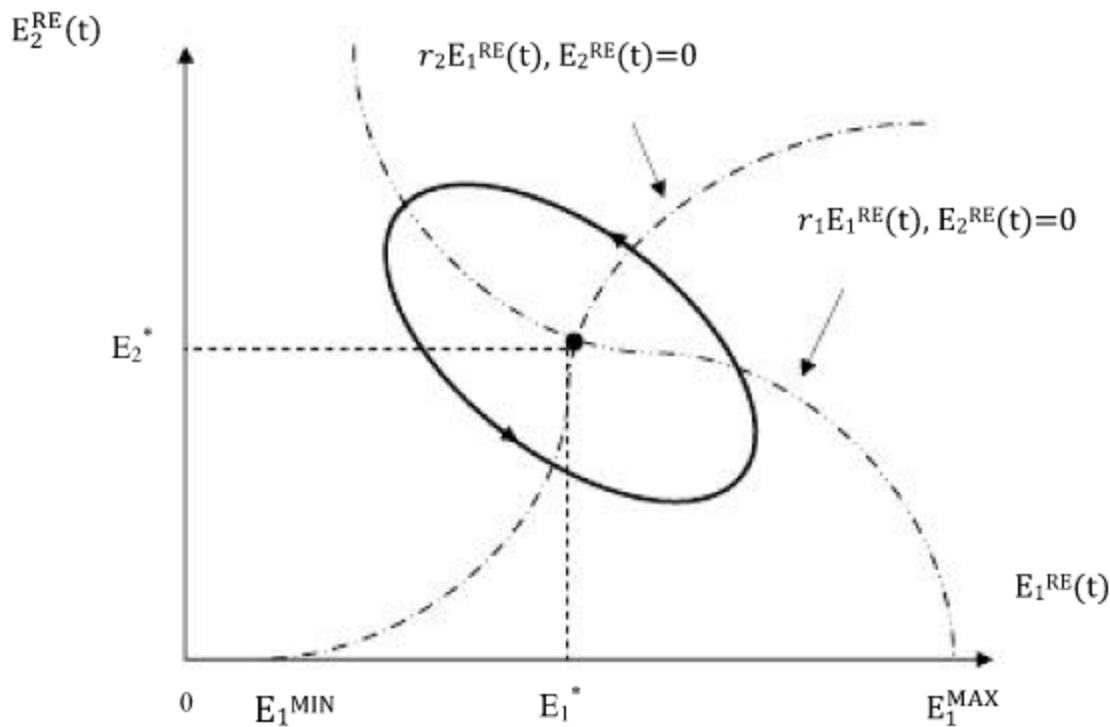


Рис.2.20. Фазовый портрет системы (2.67) при $E_1^{\text{MIN}} < E_1^{\text{MAX}}$, но $E_1^{\text{MAX}} \gg E_1^*$

$$\begin{aligned} F_i(E_1^{\text{RE}}(t), \dots, E_N^{\text{RE}}(t)) &= \\ &= E_i^{\text{RE}}(t) \frac{r_i}{E_i^{\text{MAX}}} (E_i^{\text{MAX}} - \sum_{j=1}^N \alpha_{ij} E_j^{\text{RE}}(t)), \end{aligned} \quad (2.71)$$

где α_{ij} ($0 < \alpha_{ij} \leq 0$) – коэффициенты, служащие мерой относительного влияния субъектов друг на друга ($\alpha_{ij} = 1$ при $i = j$).

Тогда процесс взаимного рефлексивного управления N субъектов будет описываться системой, состоящей из N уравнений

$$\frac{dE_i^{RE}(t)}{dt} = E_i^{RE}(t) \frac{r_i}{E_i^{MAX}} \left(E_i^{MAX} - \sum_{j=1}^N \alpha_{ij} E_j^{RE}(t) \right), i = \overline{1, N}. \quad (2.72)$$

Определим стационарное состояние этой системы, то есть найдем такую комбинацию $(E_1^*, E_2^*, \dots, E_N^*)$, при которой производные $\frac{dE_i^{RE}(t)}{dt}$ обращаются в нуль. Как видно из (2.72), ее стационарное состояние $(E_1^*, E_2^*, \dots, E_N^*)$ является решением следующей системы линейных алгебраических уравнений:

$$\sum_{j=1}^N \alpha_{ij} E_j^{RE}(t) = E_i^{MAX} (i = 1, 2, \dots, N). \quad (2.73)$$

Из курса высшей алгебры известно, что система (2.73) разрешима, если ее определитель $\Delta \neq 0$, и она имеет единственное решение, такое что

$$E_1^* = \frac{|\Delta_1|}{\Delta}, \dots, E_N^* = \frac{|\Delta_N|}{\Delta}, \quad (2.74)$$

где

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} E_1^{MAX} & \alpha_{12} & \dots & \alpha_{1N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ E_N^{MAX} & \alpha_{N1} & \dots & \alpha_{NN} \end{vmatrix}, \dots, \Delta_N = \begin{vmatrix} \alpha_{12} & \dots & \alpha_{1N} & E_1^{MAX} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \alpha_{N1} & \dots & \alpha_{NN} & E_N^{MAX} \end{vmatrix}.$$

Из (2.74) следует, что необходимым условием стационарной устойчивости процесса рефлексивного управления, описываемого (2.72), является истинность следующего логического высказывания:

$$(\Delta \neq 0) \wedge [\forall_i (\text{sign}(\Delta_i)) = \text{sign}(\Delta)], \quad (2.75)$$

где $\text{sign}(\cdot)$ читается как «знак (\cdot) ».

Поясним сказанное на примере. Рассмотрим трехкомпонентный рефлексивный процесс управления, субъекты которого ха-

рактеризуются $(\alpha_{ij}) = \begin{pmatrix} 1,0 & 0,5 & 0,3 \\ 0,7 & 1,0 & 1,5 \\ 0,4 & 0,6 & 1,0 \end{pmatrix}$ и $E_1^{MAX} = 1,8$; $E_2^{MAX} = 3,2$;

$E_3^{MAX} = 2,0$.

Используя (2.73), получаем систему уравнений

$$\begin{cases} E_1^{RE}(t) + 0,5E_2^{RE}(t) + 0,3E_3^{RE}(t) = 1,8; \\ 0,7E_1^{RE}(t) + E_2^{RE}(t) + 1,5E_3^{RE}(t) = 3,2; \\ 0,4E_1^{RE}(t) + 0,6E_2^{RE}(t) + E_3^{RE}(t) = 2,0, \end{cases} \quad (2.76)$$

для которой, как нетрудно убедиться, справедливо (2.75), поскольку $\Delta = 0,056 > 0$; $\Delta_1 = 0,056 > 0$; $\Delta_2 = 0,056 > 0$; $\Delta_3 = 0,056 > 0$, и, следовательно, выполняется необходимое условие стационарности рассматриваемого рефлексивного процесса, а его единственная стационарная точка (E_1^*, E_2^*, E_3^*) имеет координаты $(1,0; 1,0; 1,0)$.

В том случае, когда определитель системы (2.73) равен нулю ($\Delta = 0$), а один из Δ_i не равен нулю, она не имеет решения. Это означает, что нормальные векторы плоскостей (2.73) компланарны, то есть в пространстве (E_1, E_2, \dots, E_N) параллельны одной прямой, но не совпадают. С поведенческой точки зрения такое состояние характеризуется тем, что рефлексивный процесс управления, описываемый (2.72), либо постоянно находится в переходном режиме, либо его равновесная точка существует *de facto*, но ее координаты не определяются факторами, учитываемыми в данном математическом описании.

Если $\Delta = 0$, $\Delta_1 = 0$, $\Delta_2 = 0$, $\Delta_3 = 0$, то одно из уравнений (2.73) является следствием двух других, и система имеет бесчисленное множество решений. Графически, как и в предыдущем случае, плоскости (2.73) параллельны одной прямой, но теперь они образуют пучок. Такое состояние может трактоваться как существование множества локальных равновесных состояний процесса рефлексивного управления, условия переходов в которые невозможно определить в рамках данной математической модели.

Очевидно, что в том и другом случае для приведения процесса рефлексивного управления в равновесное состояние (если оно действительно существует), необходимо либо накладывать дополнительные условия на переменные $E_i^{RE}(t)$, либо учитывать дополнительные связи между ними (то есть дополнять (2.72) новыми уравнениями, накладывающими ограничения на выбор $E_i^{RE}(t)$).

Нелинейная модель взаимного рефлексивного управления. В этом случае описание двухкомпонентного процесса рефлексивного управления дается уравнениями вида

$$\frac{dE_1^{RE}(t)}{dt} = E_1^{RE}(t) \mathcal{L}_1(E_1^{RE}(t), E_2^{RE}(t)); \quad (2.77)$$

$$\frac{dE_2^{RE}(t)}{dt} = E_2^{RE}(t) \mathcal{L}_2(E_1^{RE}(t), E_2^{RE}(t)), \quad (2.78)$$

где функции $\mathcal{L}_1(E_1^{\text{RE}}(t), E_2^{\text{RE}}(t))$ и $\mathcal{L}_2(E_1^{\text{RE}}(t), E_2^{\text{RE}}(t))$ выражают нелинейную зависимость изменения эффективности одного субъекта от изменения эффективности другого.

Зависимость $E_2^{\text{RE}}(t)$ от $E_1^{\text{RE}}(t)$, соответствующая условию $\frac{dE_1^{\text{RE}}(t)}{dt} = 0$, выражается неявной функцией $\mathcal{L}_1(E_1^{\text{RE}}(t), E_2^{\text{RE}}(t)) = 0$, а условие $\frac{dE_2^{\text{RE}}(t)}{dt} = 0$ – функцией $\mathcal{L}_2(E_1^{\text{RE}}(t), E_2^{\text{RE}}(t)) = 0$.

Обозначим соответствующие им явные зависимости $E_1^{\text{RE}}(t)$ от $E_2^{\text{RE}}(t)$ и $E_2^{\text{RE}}(t)$ от $E_1^{\text{RE}}(t)$ через $E_1^{\text{RE}}(t) = f_1(E_2^{\text{RE}}(t))$ и $E_2^{\text{RE}}(t) = f_2(E_1^{\text{RE}}(t))$. Тогда, выбирая, например:

$$\begin{aligned} \mathcal{L}_i(E_1^{\text{RE}}(t), E_2^{\text{RE}}(t)) &= \\ &= \alpha_i - \beta_i E_1^{\text{RE}}(t) - \gamma_i E_2^{\text{RE}}(t) - \\ &\quad - \delta_i E_2^{\text{RE}}(t) E_1^{\text{RE}}(t); \quad (i = 1, 2), \end{aligned} \quad (2.79)$$

где $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i, \delta_i$ – экспертные коэффициенты, из неявных зависимостей $E_2^{\text{RE}}(t)$ от $E_1^{\text{RE}}(t)$ и $E_1^{\text{RE}}(t)$ от $E_2^{\text{RE}}(t)$ получаем явные зависимости

$$E_1^{\text{RE}}(t) = f_1(E_2^{\text{RE}}(t)) = \frac{\alpha_1 - \beta_1 E_2^{\text{RE}}(t)}{\gamma_1 + \delta_1 E_2^{\text{RE}}(t)}; \quad (2.80)$$

$$E_2^{\text{RE}}(t) = f_2(E_1^{\text{RE}}(t)) = \frac{\alpha_2 - \beta_2 E_1^{\text{RE}}(t)}{\gamma_2 + \delta_2 E_1^{\text{RE}}(t)}. \quad (2.81)$$

Пусть рассматриваемая система уравнений (2.77), (2.78) имеет единственное положительное решение (E_1^*, E_2^*) , соответствующее точке пересечения графиков функций $E_2^{\text{RE}}(t) = f_2(E_1^{\text{RE}}(t))$ и $E_1^{\text{RE}}(t) = f_1(E_2^{\text{RE}}(t))$. Тогда, для того, чтобы рассматриваемый процесс рефлексивного управления был стационарно устойчивым, необходимо выполнение неравенства

$$\left| \frac{\delta f_1(E_2^{\text{RE}}(t))}{\delta E_2^{\text{RE}}(t)} \right| > \left| \frac{\delta f_2(E_1^{\text{RE}}(t))}{\delta E_1^{\text{RE}}(t)} \right|, \quad (2.82)$$

из которого следует

$$\left| \frac{\delta f_1(E_2^{\text{RE}}(t))}{\delta E_1^{\text{RE}}(t)} \cdot \frac{\delta f_2(E_1^{\text{RE}}(t))}{\delta E_2^{\text{RE}}(t)} \right| >$$

$$> \left| \frac{\delta f_1(E_2^{\text{RE}}(t))}{\delta E_2^{\text{RE}}(t)} \cdot \frac{\delta f_2(E_1^{\text{RE}}(t))}{\delta E_1^{\text{RE}}(t)} \right|, \quad (2.83)$$

или в других обозначениях:

$$\omega_{11}\omega_{22} > \omega_{12}\omega_{21}, \quad (2.84)$$

где ω_{11} и ω_{22} – коэффициенты интенсивности рефлексивного самоограничения, устанавливаемые в результате компромиссных решений, достигнутых, например, на переговорах; ω_{12} и ω_{21} – коэффициенты интенсивности рефлексивного вытеснения, характеризующие стремление сторон одержать победу над противником в процессе рефлексивного управления ($0 < \omega_{11}, \omega_{22}, \omega_{12}, \omega_{21} \leq 1$).

Смысл неравенства (2.84) заключается в том, что для обеспечения устойчивости процесса рефлексивного управления необходимо, чтобы совместное рефлексивное самоограничение было бы более сильным, чем стремление к взаимному вытеснению.

Учет недейственности рефлексивных управлений. Выше предполагалось, что управления, оказываемые субъектами друг на друга, обладают свойством действенности. То есть считалось, что, будучи реализованными, они с вероятностью равной единице оказывают воздействие, на которое и рассчитывала сторона, ведущая рефлексивное управление. На практике это предположение выполняется далеко не всегда. Рефлексирующие стороны, принимая мотивирующую информацию, проводят ее анализ с целью распознавания, насколько она соответствует действительности. В результате такого анализа мотивирующая информация либо отвергается, либо принимается к сведению.

Пусть p_i ($i = 1, 2$) – вероятность того, что в результате анализа мотивирующая информация будет принята к сведению. Тогда $(1 - p_i)$ будет вероятность того, что эта информация будет отвергнута на том основании, что управляемый субъект счел ее не соответствующей действительности.

С учетом введенных вероятностей p_i динамическую модель парного взаимного рефлексивного управления (2.51), (2.52) следует записать в виде:

$$E_1^{\text{RE}}(t^*) = p_1 F\left(\Phi(E_1^{\text{RE}}(t^*), E_2^0(t^*)), E_1^0(t^*)\right) + (1 - p_1)E_1^0(t); \quad (2.85)$$

$$E_2^{RE}(t^*) = p_2 \Phi \left(F \left(E_2^{RE}(t^*), E_1^0(t^*) \right), E_2^0(t^*) \right) + (1 - p_2) E_2^0(t). \quad (2.86)$$

Действительно, при $p_1 = p_2 = 1$, то есть при действенности рефлексивных управлений, (2.85), (2.86) трансформируются в (2.51), (2.52), а при $p_1 = p_2 = 0$, то есть при полной недейственности рефлексивных управлений, получаем $E_1^{RE}(t^* + \Delta_i) = E_1^0(t)$ и $E_2^{RE}(t^* + \Delta_i) = E_2^0(t)$, то есть имеет место полное отсутствие эффекта рефлексивного управления с обеих сторон.

Более сложные варианты получаются, когда $p_1 = 0$, а $p_2 \neq 0$ (или, что равнозначно с математической точки зрения, $p_2 = 0$, а $p_1 \neq 0$). В этом случае имеет место либо одностороннее рефлексивное управление с содействием при

$$\left(\frac{\delta E_1^{RE}(t^*)}{\delta E_2^{RE}(t^*)} > 0 \right) \vee \left(\frac{\delta E_2^{RE}(t^*)}{\delta E_1^{RE}(t^*)} > 0 \right),$$

либо одностороннее рефлексивное управление с противодействием при

$$\left(\frac{\delta E_1^{RE}(t^*)}{\delta E_2^{RE}(t^*)} < 0 \right) \vee \left(\frac{\delta E_2^{RE}(t^*)}{\delta E_1^{RE}(t^*)} < 0 \right).$$

Рассмотрим эти варианты рефлексивного управления.

Одностороннее рефлексивное управление в условиях противодействия. Такой тип рефлексивного управления характеризуется тем, что первый из субъектов оказывает негативное воздействие на эффективность функционирования второго, в то время как сам не испытывает существенного влияния с его стороны. Если исходить из того, что эффект одностороннего рефлексивного управления проявляется в линейном уменьшении максимальной эффективности управляемого объекта (позначим его индексом «2») с ростом эффективности объекта, ведущего управление (индекс «1»), то справедливо соотношение

$$E_2^{MAX}(E_1^{RE}(t)) = E_2^{MAX} - \lambda_{21} E_1^{RE}(t), \quad (2.87)$$

где λ_{21} — коэффициент интенсивности рефлексивного управления, показывающий, насколько уменьшается потенциальная эффективность второго субъекта при увеличении эффективности функционирования первого на единицу.

Тогда с учетом (4.39) модель одностороннего рефлексивного управления примет вид:

$$\begin{cases} \frac{dE_1^{\text{RE}}(t)}{dt} = E_1^{\text{RE}}(t)r_1 \left(1 - \frac{E_1^{\text{RE}}(t)}{E_1^{\text{MAX}}}\right); \\ \frac{dE_2^{\text{RE}}(t)}{dt} = E_2^{\text{RE}}(t)r_2 \left(1 - \frac{E_2^{\text{RE}}(t)}{E_2^{\text{MAX}} - \lambda_{21}E_1^{\text{RE}}(t)}\right). \end{cases} \quad (2.88)$$

Анализ этой системы показывает, что при положительных значениях коэффициентов r , E^{MAX} и λ_{21} (что соответствует их практическому смыслу) поведение решений системы (2.88) полностью определяется соотношением коэффициентов E_1^{MAX} , E_2^{MAX} и λ_{21} . При $\frac{E_2^{\text{MAX}}}{E_1^{\text{MAX}}} > \lambda_{21}$ существует единственное устойчивое равновесное состояние с координатами $(E_1^{\text{MAX}}, E_2^{\text{MAX}} - \lambda_{21}E_1^{\text{MAX}})$, и это состояние динамически устойчиво, поскольку к нему сходятся решения системы (2.88) из любого начального состояния. При $\frac{E_2^{\text{MAX}}}{E_1^{\text{MAX}}} < \lambda_{21}$ рассматриваемый рефлексивный процесс неустойчив, поскольку система (2.88) имеет единственное решение $(E_1^{\text{MAX}}, 0)$, при котором эффективность второго субъекта равна нулю.

Одностороннее рефлексивное управление в условиях содействия. Такой тип рефлексивного управления характеризуется тем, что один из субъектов оказывает позитивное влияние на эффективность функционирования второго, в то время как сам не испытывает существенного влияния с его стороны.

В этом случае модель рефлексивного управления примет вид

$$\begin{cases} \frac{dE_1^{\text{RE}}(t)}{dt} = E_1^{\text{RE}}(t)r_1 \left(1 - \frac{E_1^{\text{RE}}(t)}{E_1^{\text{MAX}}}\right); \\ \frac{dE_2^{\text{RE}}(t)}{dt} = E_2^{\text{RE}}(t)r_2 \left(1 - \frac{E_2^{\text{RE}}(t)}{E_2^{\text{MAX}} + \mu_{21}E_1^{\text{RE}}(t)}\right), \end{cases} \quad (2.89)$$

где μ_{21} — коэффициент интенсивности рефлексивного управления, показывающий, насколько увеличивается потенциальная эффективность второго субъекта при увеличении эффективности функционирования первого на единицу.

Исследование этой модели показывает, что при положительных коэффициентах r , E^{MAX} и μ_{21} существует единственное устойчивое стационарное состояние с положительными координатами $(E_1^*, E_2^*) = (E_1^{\text{MAX}}, E_2^{\text{MAX}} + \mu_{21}E_1^{\text{MAX}})$, к которому сходятся решения из любого начального состояния системы (2.89).

ГЛАВА 5. МОДЕЛЬ ПОИСКА КОМПРОМИССА В НЕАНТАГОНИСТИЧЕСКИХ КОНФЛИКТАХ

Компромиссами будем называть коллективные решения, принятые на основе взаимных уступок. Безусловно, умение находить компромиссные решения в конфликтах – это искусство, опирающееся на личный опыт и интуицию. Тем не менее, основываясь на математическом аппарате теории игр с непротивоположными интересами [11] и математической теории активных систем [7, 22], можно предложить формализованный алгоритм, помогающий успешно решать эту трудную, но зачастую жизненно важную задачу.

5.1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Будем рассматривать конфликт ИКС как вариант группового взаимодействия N субъектов, а его динамику этого процесса во времени t формально зададим в виде системы дифференциальных уравнений [14]:

[illegible]

при ограничениях

$$R_1 = H_1(E_1(t), X_1(t), X_1^*(t)) \leq R_1^*;$$

$$R_2 = H_2(E_2(t), X_2(t), X_2^*(t)) \leq R_2^*,$$

* * * * *

$$R_N = H_N(E_N(t), X_N(t), X_N^*(t)) \leq R_N^*,$$

где:

$E_1(t), E_2(t), \dots, E_N(t)$ – текущие эффективности конфликтующих субъектов:

R_1, R_2, \dots, R_N – множества ресурсов, затрачиваемых конфликтующими сторонами на обеспечение собственного функционирования, на поддержание взаимоотношений с другими субъектами, на управление своими средствами, на управление другой стороной:

$R_1^*, R_2^*, \dots, R_N^*$ – максимально возможные объемы ресурсов, которыми располагают участники конфликта;

H_1, H_2, \dots, H_N – априори заданные функции (например, линейные, квадратичные или экспоненциальные), определяющие объемы ресурсов необходимых субъектам для ведения конфликта;

$$V_1(t) = \int_{-t_1}^t E_1(s - \tau_1) dG_1(s, t, \tau), \dots, V_N(t) = \int_{-t_N}^t E_N(s - \tau_N) dG_N(s, t, \tau),$$

G_1, G_2, \dots, G_N – априори заданные функции, определяющие характер влияния памяти на эффективность конфликтующих субъектов;

$[-t_1; t], [-t_2; t], \dots, [-t_N; t]$ – интервалы памяти;

$x_1(t, \tau_1^u) \in X_1, x_2(t, \tau_2^u) \in X_2, \dots, x_N(t, \tau_N^u) \in X_N$ – внутренние управления;

τ_i^u – отклонения аргументов, отражающих запаздывание или опережение во внутреннем управлении;

$(X_1, \dots, X_N) \in X$ – область допустимых внутренних управлений;

$x_1^*(t, \tau_1^v) \in X_1^*, x_2^*(t, \tau_2^v) \in X_2^*, \dots, x_N^*(t, \tau_N^v) \in X_N^*$ – внешние управления;

τ_i^v – отклонения аргументов, отражающих запаздывание (опережение) во внешнем управлении;

$(X_1^*, \dots, X_N^*) \in X^*$ – область допустимых внешних управлений;

$\xi_1(t), \xi_2(t), \dots, \xi_N(t)$ – случайные компоненты, отражающие влияние на эффективность функционирования субъектов сторонних факторов, не подлежащих управлению, например, форс-мажорных обстоятельств.

Будем также предполагать, что

а) заданы некоторые начальные условия $E_1(0), E_2(0), \dots, E_N(0)$;

б) известна матрица $\|c_{ij}(t)\|, c_{ij}(t) = \frac{\partial \left[\frac{dE_i(t)}{dt} \right]}{\partial E_j(t)} \Big|_T, i, j = 1, \dots, N,$

компоненты которой определены и непрерывны на прямом произведении $E \times X \times X^*$, а их знаки («+», «0», «-») остаются неизменными в течение всего периода времени T ;

в) известны функции $f_i^0(E_1(t), E_2(t), \dots, E_N(t), x_i, x_i^*), i = 1, 2, \dots, N$, определенные и непрерывные вместе с частными производными $\frac{\partial f_i^0}{\partial E_i}, i = 1, 2, \dots, N$, на всем пространстве $E \times X \times X^*$.

Тогда задача решения конфликта может быть сформулирована следующим образом. В фазовом пространстве E заданы N пар точек $(E_1(0), E_2(0), \dots, E_N(0))|_i$ и $(E_1(T), E_2(T), \dots, E_N(T))|_i$. Среди всех допустимых управлений $x = x_i(t)$ и $x_i^* = x_i^*(t)$, переводящих фазовые точки из положения $(E_1(0), E_2(0), \dots, E_N(0))|_i$ в положение $(E_1(T), E_2(T), \dots, E_N(T))|_i$ (если такие управления существуют), найти такие, для которых целевые функционалы

$$Z_i = \int_0^T f_i^0(\bar{E}(t), \bar{x}(t), \bar{x}^*(t)) dt, (i = 1, 2, \dots, N) \rightarrow \min, \quad (2.91)$$

здесь $\bar{E}(t)$ – решения системы уравнений (2.90) с начальными условиями $E(0) = E_0$, соответствующее управленческим решениям $x_i(t)$ и $x_i^*(t)$, а T – момент прохождения этого решения через точку $E_1(T), E_2(T), \dots, E_N(T)|_i$.

Сформулированная выше задача, по существу, является классической задачей оптимального управления. Однако в условиях конфликта ее строгое решение связано с рядом существенных трудностей. Во-первых, нетрудно видеть, что в случае, когда знаковая структура матрицы $\|c_{ij}(t)\|$ неоднородна (что характерно для реальных групповых конфликтов) задача не имеет строгого решения, поскольку:

- в практически интересных вариантах система уравнений (2.90) в силу своей нелинейности и неоднородности аналитически неразрешима; будучи же упрощенной до линейного приближения, ее решения приобретают тривиальный характер (при равенстве ресурсов конфликт исчерпан, при неравенстве – заведомо побеждает сторона, располагающая большим ресурсом);

- так как существуют ограничения на ресурсы, то оптимумы целевых функционалов (2.91) для всех конфликтующих субъектов одновременно недостижимы, даже в том случае, если все стороны к этому стремятся и ищут кооперативное решение; использование мультипликативной (аддитивной) свертки целевых функционалов не дает корректного решения задачи, поскольку возникает неопределенность в выборе коэффициентов взвешива-

ния (каждая сторона выбирает их из собственного видения ситуации, субъективно и далеко не точно оценивая собственные ресурсы и ресурсы противостоящих сторон);

- из-за взаимозависимостей эффективностей конфликтующих сторон требуемое или желаемое повышение собственной эффективности может достигаться как за счет ее повышения, так и за счет ее понижения, то есть, возможны (и на практике нередки) ситуации, когда для достижения успеха в реальном конфликте следует не увеличивать, а уменьшать эффективность собственного функционирования; подобный феномен невозможно учесть в рамках классической теории оптимального управления.

Во-вторых, в реальных конфликтных ситуациях не всегда удается точно и однозначно определить целевые функции $f_i^0(E_1(t), E_2(t), \dots, E_N(t), x_i, x_i^*), i = 1, 2, \dots, N$ на весь период продолжения конфликта, а следовательно, выразить в аналитическом виде функционалы (2.91) на интервале времени $(0-T)$. В действительности такая возможность существует лишь для некоторых отрезков времени Δt_k (шагов конфликта), таких что

$$[\forall_k (\Delta t_k < T)] \wedge [\sum_{k=1}^K \Delta t_k = T]. \quad (2.92)$$

В-третьих, в реальных групповых конфликтах приходится выбирать одну из четырех возможных стратегий поведения:

- разрешить конфликт (в содействии это означает достижение цели на основании некоторого соглашения, в противодействии – достижение победы);

- отказаться от решения конфликта (в содействии – перейти к нейтралитету, в противодействии – капитулировать);

- доопределить конфликт (в содействии – взять тайм-аут, в противодействии – установить временное перемирие);

- усложнить конфликт (в содействии – сообщить сторонам дополнительную информацию, которая ранее не учитывалась, в противодействии – сделать ход, вызывающий осложнения, в надежде, что противник разберется в них хуже).

Очевидно, что последствия этих различных по существу стратегий поведения вынуждают изменять вид функционалов (2.91), в зависимости от того, какая стратегия принимается на данном шаге конфликта.

Указанные особенности приводят к необходимости изыскания упрощенного алгоритма решения сформулированной задачи, позволяющего, с одной стороны, поспкутиться математической строгостью, но, с другой стороны, более полно и адекватно отразить природу и сущность группового неантагонистического конфликта, то есть учесть отмеченные выше особенности. Рассмотрим один из возможных вариантов такого алгоритма.

5.2. АЛГОРИТМ ПОИСКА КОМПРОМИССНЫХ РЕШЕНИЙ

Пусть субъекты конфликта ($i = 1, 2, \dots, N$) после изучения сложившейся ситуации и предварительных контактов пришли к мнению, что «худой мир лучше доброй ссоры» и собрались для совместного выбора некого коллективного решения. Будем считать, что у каждого из них есть возможность выбора личного решения $x_i \in X_i$, а полный набор возможных решений всех субъектов $x = (x_1, x_2, \dots, x_N) \in X$ есть прямое произведение множеств X_i .

Кроме того, будем исходить из того, что все конфликтующие субъекты имеют свои целевые функции (или функции выгоды) $f_i(x)$, непрерывные на X , и в своем поведении они не руководствуются никакими иными соображениями, кроме желания сделать значение $f_i(x)$ как можно большим. Так, для субъекта i решение x_i^1 считается лучшим, чем решение x_i^2 , если справедливо неравенство:

$$f_i(x_i^1) > f_i(x_i^2). \quad (2.93)$$

Условия, необходимые для ведения переговоров. Каждый субъект, стремясь соблюсти свою выгоду, не может не считаться с аналогичными стремлениями других субъектов. Поэтому жизнеспособными будут лишь такие коллективные решения, которые в определенной мере выгодны каждому субъекту. Заметим, что желание субъектов сесть за стол переговоров свидетельствует о некоем балансе сил, который выражается в том, что:

а) ни у одного субъекта нет реальных личных решений, реализация которых ведет к подавляющему преимуществу (абсолютной выгоде);

б) каждый субъект предполагает хотя бы частичную совместимость собственных интересов с интересами других субъектов;

в) став на путь поиска компромиссных решений, субъект может приобрести выгоду, по крайней мере, не меньшую, чем при отсутствии всякого соглашения.

По сути, а), б) и в) есть необходимые, но не достаточные условия ведения переговоров.

Очевидно, что выгодность или невыгодность коллективного решения – понятие субъективное и зависит от того, с чем ее сравнивать. Следовательно, до начала переговоров каждому субъекту необходимо определить некое личное решение, отталкиваясь от которого можно делать заключения о выгодности (невыгодности) совместных решений.

Речь идет о том, что в процессе переговоров каждому субъекту придется так или иначе поступиться частью своих интересов, но при этом надо знать уровень, опускаться ниже которого не имеет смысла.

Гарантирующие решения. Предположим, что один из субъектов вообще отказался от всяких взаимоотношений с партнерами и решил действовать самостоятельно. Какое личное решение ему выбрать и на какой результат он может рассчитывать? Поскольку, отказавшись от контактов с партнерами, он ничего не знает об их намерениях, то единственная вполне надежная линия его рационального поведения должна исходить из следующих предпосылок:

- партнеры создадут ему наихудшие условия для достижения личных целей, и будут правы, поскольку он сам отказался от переговоров;

- в этих наихудших условиях ему следует вести себя так, чтобы приобрести максимально возможную выгоду, то есть выбрать такое решение, реализация которого обеспечит максимум выгоды из того минимума, что предоставили ему партнеры.

Следуя терминологии теории игр, решения, выбранные исходя из этих предпосылок, будем называть гарантирующими или максиминными, а получаемая при их реализации выгода – гарантированной выгодой [15]:

$$f(x_i^*) = \max_{x_i \in X_i} \min_{x_j \in X_j, j \neq i} f(x_1, x_2, \dots, x_N). \quad (2.94)$$

Действительно, варианты решений, дающие субъекту возможность получить выгоду, меньшую гарантированной, не имеют никаких шансов получить его согласие.

Во всем дальнейшем изложении будем предполагать, что в качестве возможных вариантов компромиссного решения обсуждаются лишь решения, приносящие субъектам выгоду не меньшую, чем гарантированная. Иными словами, проводя переговоры, каждый субъект располагает решениями $x_i^* \in X_G$, которые, в крайнем случае, обеспечивают ему некую минимально возможную выгоду. Эти решения известны его партнерам, и они с пониманием относятся к такому положению вещей. Разумеется, отдельные субъекты могут на тех или иных основаниях претендовать и на большее, чем гарантированная выгода, что приведет к дальнейшему сужению области возможных компромиссов.

В дальнейшем будем полагать:

- ни один из субъектов не согласится на меньшее, чем гарантированная выгода;
- если все субъекты будут стремиться получить гарантированную выгоду, то вообще нет нужды ни в каких переговорах и соглашениях, поскольку выгода, которую может получить каждый из них, все равно не может быть повышена.

Паретовские решения. Предположим, что обсуждаются два варианта коллективного решения: выбрать решение x_i или решение x_j . Вообще говоря, одним субъектам выгоднее решение x_i , другим – x_j . Если же случится так, что решение x_i кому-то выгоднее, чем x_j , а решение x_j для всех не лучше, чем x_i , то субъектам нет никакого смысла договариваться о выборе решения x_j . В этом случае говорят, что решение x_i доминирует в смысле Парето над решением x_j . Коллективные решения, которые не доминируются никакими другими, то есть не могут быть отвергнуты на основании этих соображений, называются оптимальными по Парето, или просто паретовскими [11]. Множество таких решений обозначим символом X_P : $x \in X_P$.

Переговорные решения. Вполне очевидно, что коллективные решения, которые одновременно являются гарантирующими и паретовскими, образуют множество переговорных решений. При разумном поведении конфликтующих субъектов переговоры по поводу поиска компромиссного решения должны завершиться выбором из этого множества. Заметим, что если множества X_i компактны и функции $f_i(x)$ непрерывны, то $X_G \cap X_P \neq \emptyset$.

Алгоритм поиска компромиссных решений. Существует достаточно много вариантов поиска компромиссных решений,

обобщенный смысл которых сводится к тому, что субъектам, заинтересованным в поиске компромисса и убежденным в его существовании, необходимо совершить операции (рис. 2.21):

O₁. Произвести исследования ситуации, сделать расчеты и оценить гарантирующие решения конкурентов и участников проекта. Исходя из этого, выбрать личные гарантирующие решения.

O₂. Окончательно избавиться от антагонистических настроений по отношению к другим субъектам проекта, то есть скорректировать свои интересы таким образом, чтобы они плохо или хорошо, но совмещались с интересами других субъектов. Формально это означает расширение вариантов собственных решений.

O₃. Сесть за стол переговоров, изложить свою позицию по спорным вопросам, проинформировать собравшихся о своих намерениях, не пытаясь ввести их в заблуждение, и совместными усилиями определить полный перечень возможных коллективных решений.

O₄. Произвести анализ этих решений с позиции интересов каждого из участников переговоров и определить множество гарантирующих коллективных решений. Если окажется, что такое множество состоит из одного решения или более общо, если для каждого субъекта все гарантирующие решения равнозначны, то проблем не возникает. В том случае, когда гарантирующих коллективных решений найти не удастся, следует взять тайм-аут и через некоторое время вернуться к переговорам, привнеся в них новые линии поведения.

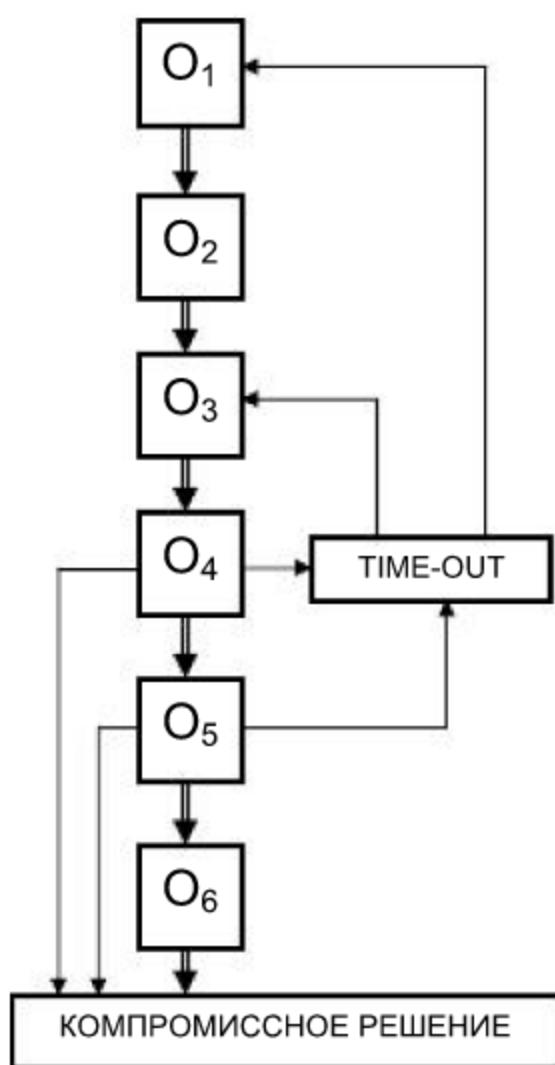


Рис. 2.21. Алгоритм поиска компромиссных решений

O₅. Проанализировать гарантирующие решения и отбросить те из них, которые не являются оптимальными по Парето. Если после такой процедуры не останется ни одного решения, претен-

дующего на эту роль, то следует прервать переговоры и вернуться к ним позднее со свежими идеями. Если окажется, что есть только одно такое решение, то проблема исчерпана.

О₆. Выбрать из множества паретовских любое решение, которое представляется более предпочтительным в смысле реализации собственных интересов, открыто объявить об этом всем остальным участникам переговоров и приступить к его воплощению в жизнь.

Очевидно, что рассмотренный алгоритм не является сходящимся, в том смысле, что не позволяет найти наилучший вариант разрешения проблемы: чьи-то интересы будут ущемлены, а чьи-то неоправданно поддержаны. Вместе с тем он, несомненно, адекватен существу конфликтных взаимоотношений: в условиях конфликта интересов невозможно найти абсолютно лучших управленческих решений, но можно отыскивать компромиссные решения на основе взаимных уступок.

5.3. УСТОЙЧИВОСТЬ КОМПРОМИССНЫХ РЕШЕНИЙ

Основной недостаток описанного алгоритма заключается в том, что стороны могут нарушить договоренности или, соблюдая их, будут стремиться опередить друг друга в проведении операций. В результате найденные компромиссные решения окажутся неустойчивыми, и процесс разработки проекта вместо стабилизации войдет в переходное, слабо контролируемое состояние. Повысить устойчивость соглашений можно разнообразными способами. Очевидный способ состоит в лишении субъектов проекта права менять свои решения после заключения соглашения, передав это право, например, некоему Центру. Но такое ущемление прав субъектов вряд ли можно считать реалистическим – по сути, это уход от проблемы, нежели ее решение. В связи с этим возникает необходимость нахождения условий, которые, будучи принятыми, и сами по себе обеспечивали устойчивость соглашений.

Устойчивость по Нэшу. Устойчивыми считаются компромиссные решения, нарушение которых невыгодно ни одному из участников договоренностей [11]. Множество таких решений обозначим символом X_{NE} . Дадим формальное определение. Пусть в результате переговоров субъекты рынка выбрали некоторое компромиссное решение x^* . Для его устойчивости необходимо,

чтобы при отклонениях от x^* нарушитель имел выгоду $f_i(x^* | x_i)$ меньшую, чем $f_i(x^*)$. Тогда условие устойчивости формально выражается в виде неравенств

$$f_i(x^*) \geq f_i(x^* | x_i) \quad (2.95)$$

для всех $i \in N, x_i \in X_i$.

Заметим, что, в отличие от паретовских решений X_P , когда конфликтная ситуация рассматривается с точки зрения всех участников переговоров, при определении устойчивых компромиссных решений по Нэшу X_{NE} исходят из интересов каждого отдельного субъекта. В качестве практических способов повышения устойчивости компромиссных решений (в смысле Нэша) можно рекомендовать следующие:

- подкрепление достигнутых договоренностей жесткими санкциями, которые применяются как в случае нарушения договорных обязательств, так и при их несоблюдении;
- добровольное объединение участников переговорного процесса в коалиции по близости интересов, что позволяет сократить число возможных переговорных решений и оставить только те из них, которые устойчивы по своему существу;
- использование смешанных компромиссных решений, когда устойчивость рассматривается не на одном, а на множестве периодически возобновляющихся переговорных процессов;
- углубление взаимной информированности участников переговоров относительно собственных интересов и намерений, что дает каждому из них возможность убедиться в том, собираются ли другие партнеры выполнять достигнутые соглашения, или они используют их в качестве ширмы, прикрывающей совсем другие намерения;
- предварительное определение правил ведения переговоров и установление порядка реализации договоренностей, что позволяет изыскивать устойчивые решения не одноактно, а путем последовательных приближений, и воплощать их в жизнь так, чтобы они не оставались равновесными лишь на бумаге.

Рассмотрим перечисленные способы более подробно.

Повышение устойчивости компромиссных решений путем введения штрафных санкций. Практическая реализация этого способа заключается в том, что достигнутые договоренности фиксируются в документе, имеющем юридическую силу (дого-

вор, контракт и т.п.), в котором в обязательном порядке указываются санкции к нарушителю, такие что:

а) в случае нарушения договоренностей нарушитель понесет неприемлемые для него материальные и/или финансовые потери, или, по меньшей мере, справедливо условие

$$\sum_{r=1}^R U_r \geq P_{\Sigma}, \quad (2.96)$$

где U_r – стоимость убытка, который понесет нарушитель договоренностей в результате применения r -й санкции; R – общее количество санкций, предусмотренных данным договором; P_{Σ} – суммарная стоимость прибыли, которую ожидает получить нарушитель в результате несоблюдения или ненадлежащего исполнения договоренностей;

б) существует правоприменительные органы способные употребить данные санкции в отношении нарушителя, и к этому органу могут в законном порядке обратиться конфликтующие стороны.

Повышение устойчивости компромиссных решений путем объединения субъектов конфликта в коалиции. Суть этого способа заключается в объединении участников переговоров в группы по интересам. При этом устанавливается режим наибольшего благоприятствования тем субъектам, которые входят в состав какой-либо группы. Устойчивость компромисса достигается тем, что результаты деятельности каждой группы увязываются так, что нарушение договоренностей означает наказание самого себя.

Повышение устойчивости компромиссных решений путем реализации смешанных стратегий. Этот способ основывается на известном в теории игр утверждении о том, что если игра не имеет седловой точки при чистых стратегиях, то ее решение следует искать в смешанных стратегиях, то есть стратегиях, применяемых с некоторой вероятностью. В нашем случае это означает, что участники переговорного процесса могут в определенные периоды совместной деятельности частично выходить за рамки достигнутых договоренностей, не нарушая при этом принципиальных договоренностей о сотрудничестве. При этом все партнеры обязаны заблаговременно информировать друг друга о возможных отклонениях от достигнутых ранее договоренностей.

Повышение устойчивости компромиссных решений путем взаимного информирования и установления порядка ведения пе-

переговоров. Идея этого способа основывается на известной теореме Цермело [11], которая в ее неформальном выражении выглядит следующим образом. Если решение каждого участника переговоров представить как набор его частных выборов, а весь процесс переговоров организовать таким образом, чтобы в каждый момент времени один из участников производил свой очередной выбор, зная ранее осуществленные выборы другими участниками, то в такой ситуации множество паретовских решений будет обязательно непусто. На формальном уровне такой порядок выбора x_1 и x_2 означает переход от первоначальной переговорной ситуации к новой, описываемой множествами решений

$$X_1, F_2 = \{ \varphi_2: X_1 \rightarrow X_2 \} \quad (2.97)$$

и целевыми функциями

$$\tilde{f}_i(x_1, \varphi_2) = f_i(x_1, \varphi_2(x_1)). \quad (2.98)$$

Теорема Цермело утверждает, что в этой новой переговорной ситуации обязательно существуют компромиссные решения, устойчивые в смысле Нэша. Казалось бы, что, организовав такой порядок переговоров, можно добиться абсолютно устойчивых договоренностей. Однако оказывается, что найденные при этом решения не обязательно будут паретовскими, то есть, несмотря на повышение уровня взаимной информированности сторон, не гарантируется выполнение условия $X_P \cap X_{NE} \neq \emptyset$. Вывод из сказанного: для целенаправленной стабилизации договоренностей необходимо углубить взаимную информированность участников переговоров. Уровень взаимной информированности можно повысить следующим образом. Пусть в переговорах участвуют два субъекта и установлен порядок выбора решений x_1 , затем x_2 . Второй участник имеет возможность до выбора x_1 сообщить партнеру свое правило ответов φ_2 , причем, сделав это, он будет вынужден его потом и придерживаться. Таким образом, обмен информацией на переговорах организуется так, что каждый из его участников сообщает другому не только свой текущий выбор, но и правило, которым он будет руководствоваться при том или ином выборе партнера, и, более того, гарантирует неизменность этого правила в ходе переговоров. Как показано в [11], в этом случае может быть уравновешено любое компромиссное решение x^* прежней ситуации, удовлетворяющее неравенствам

$$\begin{aligned} f_1(x^*) &\geq \alpha_1; & f_1(x^*) &\geq \beta_1; \\ f_2(x^*) &\geq \beta_2, & f_2(x^*) &\geq \alpha_2, \end{aligned} \quad (2.99)$$

где

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \max_{x_1} \min_{x_2} f_1(x_1, x_2); & \beta_1 &= \max_{x_2} \min_{x_1} f_1(x_1, x_2); \\ \beta_2 &= \min_{x_1} \max_{x_2} f_2(x_1, x_2); & \alpha_2 &= \min_{x_2} \max_{x_1} f_2(x_1, x_2). \end{aligned}$$

ГЛАВА 6. МОДЕЛЬ ПАРТНЕРСТВА В УСЛОВИЯХ СОПЕРНИЧЕСТВА

Развитие экономических систем обычно связано как с партнерством, так и с соперничеством. Управленческие решения в таких системах учитывают поведение партнеров и конкурентов, обусловленное конфликтом их интересов. Традиционно, формальные технологии поддержки принятия решений при конфликте интересов базируются на математических методах исследования операций и теории игр [29].

6.1. ПОЛЕЗНОСТИ ПАРТНЕРА И КОНКУРЕНТОВ

Рассмотрим активную экономическую систему, состоящую из организации, нуждающейся в какой-либо продукции или услугах (кратко – клиента) и поставщиков, конкурирующих за выполнение ее заказа. Каждый из элементов этой системы имеет собственные интересы (например, связанные с увеличением дохода). Будем называть их игроками. Полезности игроков связаны с плодотворным сотрудничеством с партнером, в условиях конфликта интересов с конкурентами. Клиент решает, сотрудничать ли с данным поставщиком, или нет. В свою очередь, поставщик может выбирать способ обслуживания данного клиента. Действия поставщика могут быть следующими: обеспечить удовлетворение главных приоритетов клиента, ввести для него привилегии, адаптировать продукцию/услуги под его требования и др. В свою очередь, клиент может воспользоваться продукцией/услугами данного поставщика, или отказаться от них. Действия клиента и поставщика могут быть направлены либо на партнерство, либо на отказ от него.

В многопериодных играх игрок на каждом шаге делает выбор, решая, что ему выгодно. Последовательные действия клиента и поставщиков образуют дерево их игры. Каждой вершине дерева, соответствующей определенному исходу игры, ставится в соответствие полезность данного конфликта интересов для клиента и поставщиков. С целью анализа возникающих при этом конфликтов, используем подходы, развитые в теории игр.

Рассмотрим игру клиента и двух фирм, конкурирующих за поставку ему продукции и ее обслуживание. Клиент рассматривается, как игрок №1, а поставщики – как игроки №2 и №3. В многопериодной игре клиента и поставщика, i -й игрок делает выбор на очередном шаге, в периодах $t = 1, 2, \dots, T$. Совокупность этих выборов определяет стратегию i -го игрока y_i на весь период дальновидности T . Полезности игроков 1, 2 и 3 (W_1, W_2 и W_3 , соответственно), есть функции выбранных ими стратегий y_1, y_2 и y_3 : $W_1 = W_1(y_1, y_2, y_3)$, $W_2 = W_2(y_1, y_2, y_3)$, $W_3 = W_3(y_1, y_2, y_3)$.

Поэтому их можно называть целевыми функциями этих игроков. Задача каждой из сторон состоит в выборе стратегии, обеспечивающей ей максимальную полезность. Для формального решения конфликта интересов представляют интерес равновесные стратегии по Нэшу, определяемые из соотношений:

$$\begin{aligned} W_1(y_1^*, y_2^*, y_3^*) &= \max_{y_1} W_1(y_1, y_2^*, y_3^*); \\ W_2(y_1^*, y_2^*, y_3^*) &= \max_{y_2} W_2(y_1^*, y_2, y_3^*); \\ W_3(y_1^*, y_2^*, y_3^*) &= \max_{y_3} W_3(y_1^*, y_2^*, y_3). \end{aligned} \quad (2.100)$$

Решение игры клиента и поставщиков заключается в выборе каждой из сторон стратегии, оптимальной с точки зрения максимизации собственной полезности.

Решение игры клиента и поставщика – это стратегии, обеспечивающие максимум их полезностей. Вначале клиент выбирает поставщика, который обеспечивает клиента продукцией или оказывает услуги, расширяя его возможности и создавая условия для увеличения его целевой функции (например, дохода). После этого клиент реализует свой возросший потенциал на рынке и достигает большего значения целевой функции.

Состояние клиента $s_{1t} = (y_{1t}, u_{1t})$ характеризует как выбор им поставщика (y_{1t}), так и его рыночный выбор (u_{1t}) в периоде t . Если клиент выбирает поставщика №1, то $y_{1t} = 1$, если поставщика №2

– то $y_{1t} = 2$. Поэтому $y_{1t} \in Y_{1t} = \{1, 2\}$. Потенциал клиента зависит от показателей u_{2t} и u_{3t} , характеризующих продукцию или услуги, соответственно, первого и второго поставщика. Предполагается, что $u_{i+1t} \in U_{it}$, где U_{it} – множество возможных значений объема продукции и услуг i -го поставщика, предоставляемых клиенту в периоде t , $U_{it} \subset R_+^1$, $i = 1, 2$. Критерий принятия решений i -м игроком в начальном периоде имеет вид:

$$W_i = \sum_{\tau=1}^T v_i^{\tau-1} f_{i\tau}(s_{1\tau}, s_{2\tau}, s_{3\tau}). \quad (2.101)$$

Состояние i -го поставщика $s_{it} = (y_{it}, u_{it})$ характеризует как режим его функционирования по отношению к клиенту (y_{it}), так и показатель объема поставляемой клиенту продукции (u_{it}) в периоде t . Режим i -го поставщика $y_{it} \in Y_{it} = \{0, 1\}$, причем $y_{it} = 0$, означает пассивный режим, при котором поставщик оптимизирует свою целевую функцию, $y_{it} = 1$ – активный режим, при котором поставщик оптимизирует целевую функцию клиента.

Состояние i -го поставщика $s_{it} = (y_{it}, u_{it}) \in S_{it}$, где S_{it} – множество возможных состояний в периоде t : $S_{it} = Y_{it} \otimes U_{it}$. При состоянии клиента $s_{1t} = (y_{1t}, u_{1t})$, его доход равен $f_{1t}(s_{1t}, s_{2t}, s_{3t})$. Поставщик выбирает режим y_{2t} обслуживания клиента и поставяет продукцию/услуги в объеме u_{2t} . После этого он делает рыночный выбор u_{1t} в периоде t , и получает доход $f_{1t}((y_{1t}, u_{1t}), (y_{2t}, u_{2t}), (y_{3t}, u_{3t}))$. Рыночная стратегия клиента $u_{1t} = (u_{11t}, \dots, u_{m1t})$ в периоде t описывается m скалярными показателями u_{11t}, \dots, u_{m1t} . Она принадлежит множеству возможных рыночных стратегий клиента $U_{1t}(u_{2t}, u_{3t})$, которое зависит от услуг i -го поставщика $u_{it} \in U_{it}$, $U_{1t}(u_{2t}, u_{3t}) \subset R^m$. Получив продукцию/услуги, клиент определяет множество возможных рыночных стратегий $U_{1t}(u_{2t}, u_{3t})$ и делает рыночный выбор $u_{1t}^p = \arg \max_{u_{1t} \in U_{1t}(u_{2t}, u_{3t})} f_{1t}((y_{1t}, u_{1t}), (y_{2t}, u_{2t}), (y_{3t}, u_{3t}))$. При состоянии клиента $s_{1t} = (y_{1t}, u_{1t}^p)$, получаемый им доход равен $f_{1t}((y_{1t}, u_{1t}^p), (y_{2t}, u_{2t}), (y_{3t}, u_{3t}))$.

6.2. ДОМИНИРОВАНИЕ В УСЛОВИЯХ КОНФЛИКТА ИНТЕРЕСОВ

В условиях конфликта интересов, связанных с конкуренцией, доминирование обусловлено партнерством с клиентом, являющим-

ся результатом наилучшего удовлетворения его потребностей. Партнерство с клиентом обеспечивает поставщику надежную прибыль, помогает сформировать инвестиции в развитие конкурентных преимуществ и дальнейшее удовлетворение важнейших приоритетов клиента. Партнерство i -го поставщика с клиентом означает, что последний пользуется продукцией и услугами только этого поставщика: $y_{1\tau} = i$; $\tau = 1, T$. Для определенности, рассмотрим решение задачи обеспечения доминирования второго поставщика, в условиях конфликта интересов с первым поставщиком. Для краткости, будем называть второго поставщика фирмой, а первого поставщика – конкурентом.

Предположим, что клиент решает в периоде t воспользоваться продукцией и услугами конкурента: $y_{1t} = 1$. В этом случае, режим конкурента $y_{2t} \in Y_{2t} = \{0, 1\}$. Пассивный режим ($y_{2t} = 0$) означает, что конкурент выбирает продукцию/услуги, максимизирующие его собственный доход: $u_{2t}^* = \arg \max_{u_{2t} \in U_{2t}} f_{2t}((1, u_{1t}), (0, u_{2t}), s_{3t})$.

Получив продукцию/услуги u_{2t}^* , клиент определяет множество возможных стратегий $U_{1t}(u_{2t}^*, 0)$ и делает оптимальный рыночный выбор $u_{1t}^* = \arg \max_{u_{1t} \in U_{1t}(u_{2t}^*, 0)} f_{1t}((1, u_{1t}), (0, u_{2t}^*), (y_{3t}, 0))$. При этом доход клиента равен $f_{1t}(s_{1t}, s_{2t}, s_{3t}) = f_{1t}((1, u_{1t}^*), (0, u_{2t}^*), (y_{3t}, 0))$.

Активный режим ($y_{2t} = 1$) означает, что конкурент выбирает продукцию/услуги, оптимальные для клиента. При этом конкурент исходит из того, что, получив продукцию/услуги u_{2t} , клиент определяет множество возможных рыночных стратегий $U_{1t}(u_{2t}, 0)$ и делает рыночный выбор $\tilde{u}_{1t}(u_{2t}) = \arg \max_{u_{1t} \in U_{1t}(u_{2t}, 0)} f_{1t}((1, u_{1t}), (0, u_{2t}), (y_{3t}, 0))$. При этом доход клиента равен $f_{1t}((1, \tilde{u}_{1t}(u_{2t})), (0, u_{2t}), (y_{3t}, 0))$. Тогда оптимальный для клиента объем продукции и услуг $\tilde{u}_{2t} = \arg \max_{u_{2t} \in U_{2t}} f_{1t}((1, \tilde{u}_{1t}(u_{2t})), (0, u_{2t}), (y_{3t}, 0))$, тем самым, определяется рыночная стратегия клиента $\tilde{u}_{1t}(\tilde{u}_{2t})$.

Аналогичным образом рассматривается случай, когда клиент решает в периоде t воспользоваться продукцией и услугами фирмы. Выбрав пассивный режим, фирма поставляет продукцию и оказывает услуги в объеме $u_{3t}^* = \arg \max_{u_{3t} \in U_{3t}} f_{2t}((2, u_{1t}), (y_{2t}, 0), (0, u_{3t}))$.

Если фирма функционирует в активном режиме, то объем ее продукции/услуг равен: $\tilde{u}_{3t} = \arg \max_{u_{3t} \in U_{3t}} f_{1t}((2, \tilde{u}_{1t}(u_{3t})), (y_{2t}, 0), (1, u_{3t}))$.

Будем говорить, что справедлива гипотеза взаимности, если, при условии равенства доходов $f_{1t} = f_{1t}(s_{1t}, s_{2t}, s_{3t})$, клиент выбирает поставщика, который предоставляет ему активный режим. Далее, предположим, что фирма заинтересована в обслуживании клиента на протяжении всех T периодов ($T > 1$). Полезность такой дальновидной фирмы в периоде t имеет вид $f_{2t}(y_{1t}, y_{2t}) = y_{1t}$. При этом целевая функция дальновидного поставщика $W_2 = \sum_{\tau=1}^T v_2^{\tau-1} y_{1\tau}$ достигает максимума при $y_{1\tau} = 1$, $\tau = \overline{1, T}$, т.е. при партнерстве с клиентом.

6.3. ПАССИВНЫЙ И АКТИВНЫЙ КОНКУРЕНТЫ

Пассивный режим функционирования характерен для крупных поставщиков, руководство которых, в силу «проклятия координации», не имеет возможность анализировать предпочтения и множества возможных состояний каждого клиента. Назовем фирму состоятельной, если $f_{1t}((2, \tilde{u}_{1t}(\tilde{u}_{3t})), (y_{2t}, 0), (1, \tilde{u}_{3t})) \geq f_{1t}((1, u_{1t}^*(u_{2t}^*)), (0, u_{2t}^*), (y_{3t}, 0))$, при любых $y_{it} \in Y_{it}$, $i = \overline{2, 3}$, $t = \overline{1, T}$. Назовем адаптивной стратегией фирмы стратегию, при которой она вводит в периоде t пассивный режим функционирования, если $f_{1t}((2, u_{1t}^*(u_{3t}^*)), (y_{2t}, 0), (0, u_{3t}^*)) > f_{1t}((1, u_{1t}^*(u_{2t}^*)), (0, u_{2t}^*), (y_{3t}, 0))$, и активный режим, если $f_{1t}((2, \tilde{u}_{1t}(\tilde{u}_{3t})), (y_{2t}, 0), (1, \tilde{u}_{3t})) \geq f_{1t}((1, u_{1t}^*(u_{2t}^*)), (0, u_{2t}^*), (y_{3t}, 0)) \geq f_{1t}((2, u_{1t}^*(u_{3t}^*)), (y_{2t}, 0), (0, u_{3t}^*))$ при $y_{it} \in Y_{it}$, $i = \overline{2, 3}$.

Теорема 1. Предположим, что фирма состоятельна, конкурент функционирует в пассивном режиме и справедлива гипотеза взаимности. Тогда фирме достаточно использовать адаптивную стратегию, чтобы обеспечить партнерство с клиентом.

Содержательно, фирма обеспечивает победу в конкурентной борьбе за счет анализа и учета полезности (целевой функции) и множества возможных состояний клиента, позволяющих определить оптимальную собственную стратегию. Эта ситуация характерна для средних фирм, руководство которых имеет возможность менять режимы функционирования, адаптируясь к постав-

щику, тогда как руководство крупных конкурентов не имеет такой возможности, в силу «проклятия координации».

Активный конкурент может использовать как пассивный, так и активный режим. Назовем фирму конкурентоспособной, если $f_{1t}((2, \tilde{u}_{1t}(\tilde{u}_{3t})), (y_{2t}, 0), (1, \tilde{u}_{3t})) > f_{1t}((1, \tilde{u}_{1t}(\tilde{u}_{2t})), (1, \tilde{u}_{2t}), (y_{3t}, 0))$, при любых $y_{it} \in Y_{it}$, $i = \overline{2, 3}$, $t = \overline{1, T}$.

Назовем доминантной стратегией фирмы стратегию, при которой она вводит в периоде t пассивный режим, если $f_{1t}((2, u_{1t}^*(u_{3t}^*)), (y_{2t}, 0), (0, u_{3t}^*)) > f_{1t}((1, \tilde{u}_{1t}(\tilde{u}_{2t})), (1, \tilde{u}_{2t}), (y_{3t}, 0))$, и активный режим, если $f_{1t}((1, \tilde{u}_{1t}(\tilde{u}_{2t})), (1, \tilde{u}_{2t}), (y_{3t}, 0)) \geq f_{1t}((2, u_{1t}^*(u_{3t}^*)), (y_{2t}, 0), (0, u_{3t}^*))$ при любых $y_{it} \in Y_{it}$, $i = \overline{2, 3}$, $t = \overline{1, T}$.

Теорема 2. Предположим, что конкурент функционирует в активном режиме, фирма конкурентоспособна, и справедлива гипотеза взаимности. Тогда фирме достаточно использовать доминантную стратегию, чтобы обеспечить партнерство с клиентом.

Содержательно, фирма обеспечивает победу в конфликте интересов, связанных с конкурентной борьбой, за счет введения, в необходимых случаях, активного режима. Такая ситуация характерна для конкуренции средних фирм, каждая из которых имеет возможность анализировать цели и потенциал клиента, и гибко настраивать внутренние механизмы. Преимущество в такой конкуренции достигается за счет технологического или иного превосходства, обеспечивающего более высокий уровень доходов клиента.

В коммерческой практике, надежное партнерство обеспечивает развитие фирм. Увеличение числа клиентов на 5% увеличивает прибыль поставщика с 25% до 85% [29]. Качественная характеристика рынка поставщика, измеренная в единицах, характеризующих партнерство с клиентом, заслуживает такого же внимания, как и количественный показатель — доля завоеванного рынка. Фирмы, прежде управлявшиеся только на основе финансовых показателей, ныне руководствуются квартальными данными об удержании клиентов, такими как количество продукции и услуг, востребованных каждым клиентом, глубина отношений с клиентом и уровень удовлетворения его важнейших приоритетов.

Процессом удовлетворения потребностей клиента управляет полезность (целевая функция): клиент ориентирован на результаты, которые он получает, в соотношении с общей стоимостью то-

вара и услуги (цена и другие издержки клиента). В свою очередь, удовлетворение клиента управляет его лояльностью. Так, транснациональная компания «Ксерокс» опрашивает около полумиллиона клиентов в год относительно продукции и удовлетворенности сервисом, используя пятибалльную шкалу. Фирма старалась довести количество клиентов с оценкой «хорошо» (удовлетворен) и с оценкой «отлично» (очень удовлетворен) до 100%. Аналитики обнаружили, что соотношение между количеством клиентов с оценкой «хорошо» и «отлично» и между количеством действительно лояльных клиентов сильно зависит от того, удовлетворен ли клиент, или же он очень удовлетворен. Поэтому «Ксерокс» направил усилия на увеличение доли очень удовлетворенных клиентов.

ГЛАВА 7. ТЕХНОЛОГИЯ КОНКУРСНОГО УПРАВЛЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫМИ ПРОЕКТАМИ

Под конкурсным управлением будем понимать процесс оценки, выбора и реализации наилучшего проекта из множества представленных на конкурс, а также совокупность операций сопровождения выбранного проекта вплоть до его завершения. В силу открытости процесс конкурсного управления строительными проектами всегда уникален. Элемент экспертных оценок и интуиции здесь играют существенную роль. Однако сколь бы талантливы не были эксперты, осуществляющие этот процесс, необходимо использование специальных технологий конкурсного управления проектными циклами. В качестве методологической основы управления строительными проектами будем ориентироваться на системную модель, предложенную в [17]. Согласно этой модели проекты будем рассматривать как целостные системы, а управление ими представлять структурной композицией пяти компонентов: субъектов управления; объектов управления; процесса управления проектом; окружением проекта и структурой проектного цикла.

Субъектами управления являются активные участники проекта, взаимодействующие при выработке и принятии управленческих решений в процессе его осуществления. В нашем случае ими могут быть: государственный орган, осуществляющий формирование программы развития региона и организующий кон-

курсы проектов; инвестор; заказчик; генеральный подрядчик, исполнители, соисполнители, команда управления проектом (руководитель проекта, его заместители, менеджеры проекта и др.).

Объектом управления в нашем случае выступает собственно строительный проект на всех стадиях и этапах проектного цикла.

Под *процессом управления проектом* будем понимать целенаправленное воздействие субъектов управления на объект управления посредством принятия и реализации решений в интересах достижения целей проекта с учетом существующих ограничений технического, экономического, организационного и технологического плана. С учетом сказанного:

$$M = \langle Z, L, Q, T, S, F, O \rangle, \quad (2.102)$$

где M – вербальная модель управления строительным проектом; Z – субъекты управления проектом; L – субъекты управления проектом; Q – объект управления (конкурирующие строительные проекты); T – процесс управления проектом; S – функциональные области управления; F – стадии и этапы конкурсного управления проектным циклом; O – окружение проекта.

Окружением проекта будем называть среду, порождающую совокупность внешних и внутренних сил, которые способствуют или мешают достижению целей проекта. Эта динамическая среда оказывает определенные воздействия (экономические, социальные, правовые, финансовые, организационные, информационные и др.) на компоненты проекта. Каждое из таких воздействий может оказаться критическим для проекта и привести к его разрушению. Поэтому факторы окружения проекта должны быть проанализированы на предмет их релевантности и выделены те из них, которые могут оказывать заметное влияние на процесс проектирования.

Типовые факторы окружения строительных проектов можно представить в виде трехслойного кортежа:

$$O = \begin{cases} S_1 = \langle P, E, OB, Z \& P, N \& T, P \& E \rangle; \\ S_2 = \langle RS, RSP, SOOS, RK, RRI \& PP, RU \& S, SP \rangle; \\ S_3 = \langle K, ZL, NF \rangle, \end{cases} \quad (2.103)$$

где P – политическая ситуация; E – экономическая ситуация; OB – общественные отношения; $Z \& P$ – закон и право; $P \& E$ – природа и экология региона; RS – рынок сбыта; RSP – рынок средств производства; $SOOS$ – службы охраны окружающей среды; RK – ры-

нок капитала; RRI&PP – рынок комплектующих изделий и программных продуктов; RU&S – рынок услуг и сервиса; К – конкуренты; ZL – злоумышленники; NF – непредвиденные факторы.

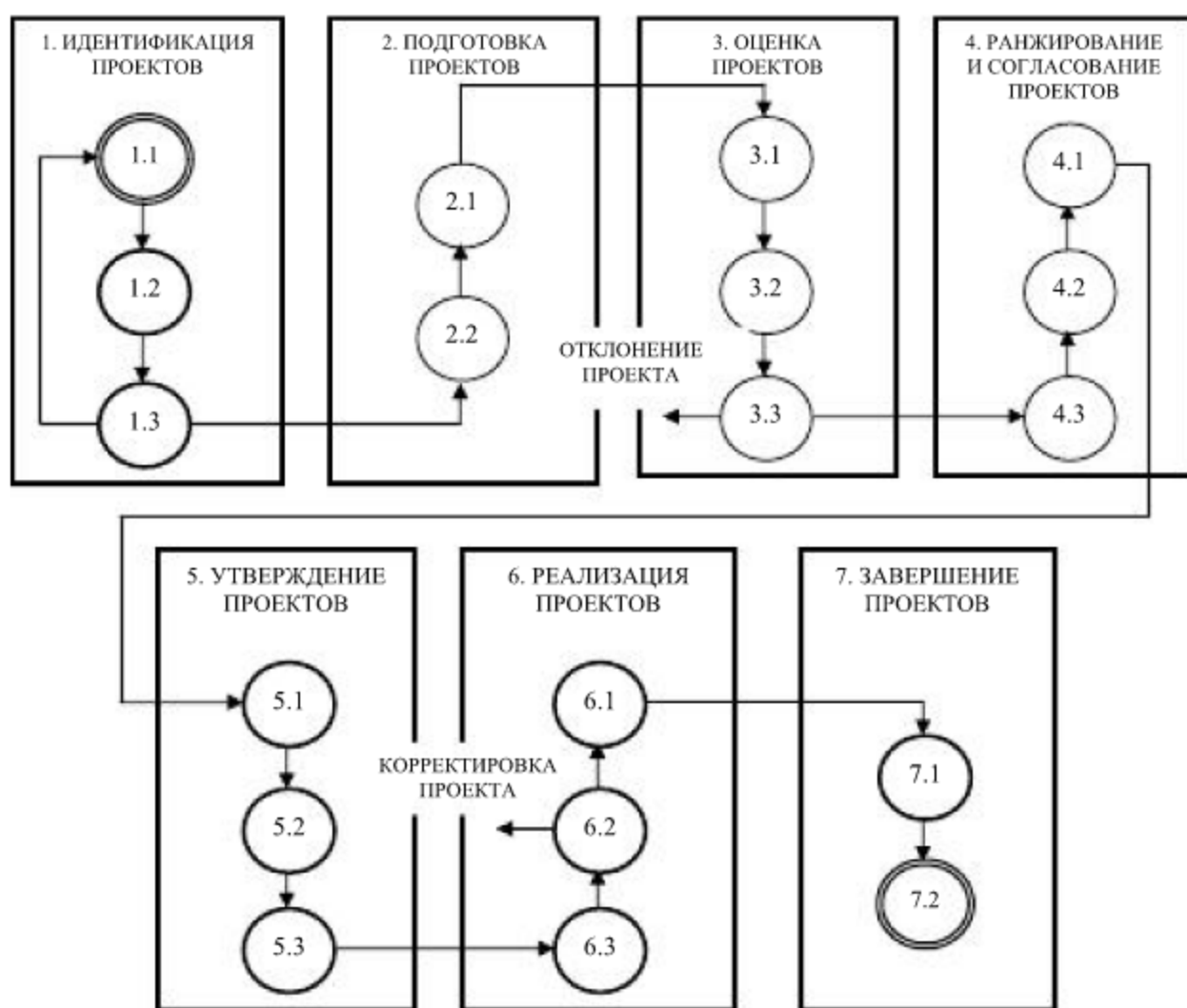
Структура проектного цикла. Анализ и обобщение известных источников, позволяет сделать вывод о том, что в настоящее время в сфере строительства сложилась определенная и достаточно устойчивая структура конкурсных проектных циклов. В обобщенном виде стадии и этапы этого процесса представлены на рис. 2.22.

7.1. ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПРОЕКТОВ

Анализ деятельности по продвижению строительных проектов показывает, что для обеспечения необходимого объема информации в целях проведения ускоренной первичной оценки, подателям заявки следует заполнить типовую форму, представленную в табл. 2.3.

Т а б л и ц а 2.3. Форма заявки для первичной оценки проекта

№ пп	Параметры проекта	Содержание
1.	Название проекта	Основная направленность проекта и его место в структуре региональных строительных программ
2.	Заявитель	Полное название предприятия (организации), адрес с указанием лица, ответственного по данному проекту и его реквизитов
3.	Место и сроки реализации проекта	Территория (район), где предполагается реализовать данный проект, начало и конец проектных работ
4.	Тип проекта	Строительство нового объекта, реконструкция (ремонт) существующих объектов, проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по внедрению новых строительных технологий, совершенствование системы строительного мониторинга, международное сотрудничество, семинары и конференции (обучение), развитие материально-технической базы строительных предприятий и др.
5.	Целевые проблемы, для решения которых осуществляется проект	Расширение жилищного фонда, развитие городской инфраструктуры и др.
6.	Краткая концепция проекта	Цели проекта, способы их достижения, применяемые технологии, потребные ресурсы, связь с другими проектами и др.
7.	Смета расходов и потребность в финансировании	Общая сумма затрат по проекту; объем финансирования за счет средств регионального бюджета; предполагаемый источник оставшейся суммы финансирования
8.	Имеющаяся проектная документация	Перечень проектной документации, имеющейся у заявителя на момент представления проекта



- 1.1. Разработка общей концепции проекта
- 1.2. Первое обращение инициаторов проекта в орган, осуществляющий формирование программы
- 1.3. Первичная оценка проекта государственным органом, в результате которого проект либо отклоняется как непригодный в принципе, либо по нему запрашивается полная проектная документация
- 2.1. Разработка предприятием (организацией) подробной проектной документации
- 2.2. Оформление проекта и его подача в государственный орган
- 3.1. Полная оценка проекта по совокупности установленных критериев
- 3.2. Оценка соответствия проекта требованиям внешних инвесторов.
- 3.3. Принятие решения и о принятии/отклонении проекта, мотивация принятого решения
- 4.1. Формирование критериев, на основании которых производится отбор приоритетных проектов
- 4.2. Ранжирование проектов
- 4.3. Согласование проектов, формирование программы их финансирования, ее согласование с заинтересованными органами, утверждение и принятие к исполнению распорядителем средств
- 5.1. Выявление и анализ связей между проектами
- 5.2. Координация параметров смежных проектов
- 5.3. Подписание договора о реализации проекта
- 6.1. Выплата утвержденных средств
- 6.2. Мониторинг реализации проекта (корректировка проекта при необходимости)
- 6.3. Координация проектных циклов
- 7.1. Оценка результатов проекта
- 7.2. Представление распорядителю средств отчетных документов установленного образца

Рис. 2.22. Стадии и этапы конкурсного управления проектными циклами

Для формирования потока эффективных проектных концепций, общие критерии отбора проектов, план приоритетного распределения средств, а также и сама форма заявки по ускоренной

первичной оценке должны быть доступны для всех потенциальных заявителей проектов. Положительное решение государственного органа по проекту на основании такой формы не следует рассматривать как гарантию утверждения и финансирования проекта. Для проектных концепций, по которым в результате ускоренной первоначальной оценки принято положительное решение, заявитель предоставляет полную проектную заявку.

Для обеспечения адекватного ранжирования приемлемых проектных заявок, необходимо наличие постоянного потока проектов с актуальными концепциями («проектный поток»). В случаях, когда направляется недостаточное количество проектов, удовлетворяющих критериям отбора, или они поступают нерегулярно, или когда какие-либо сферы, определенные как приоритетные, не охватываются «проектным потоком», государственный орган должен предпринять действия по дальнейшему расширению «проектного потока» и проявлять инициативу в поиске проектов. Например, это может быть прямым обращением к потенциальным заявителям проектов или заключение контрактов с местными консультантами или институтами по вопросам разработки проектных предложений по неохваченным проблемам строительства.

7.2. ПОДГОТОВКА ПРОЕКТОВ

Подготовка проекта заключается в разработке полной проектной заявки и ее предоставлении в орган, принимающий решение по данному вопросу. Полная проектная заявка должна, быть подготовлена таким образом, чтобы в ней содержалась вся информация, необходимая для всесторонней оценки проекта. Проведенный анализ, позволяет заключить, что этому требованию отвечает форма, приведенная в табл. 2.4.

Т а б л и ц а 2.4. Форма полной заявки на реализацию проекта

№ пп	Параметры проекта	Содержание
Основная проектная документация:		
1.	Название проекта	Основная направленность проекта и его место в структуре региональных строительных программ
2.	Заявитель и кооперация исполнителей	Полные названия предприятия (организации)-заявителя и предприятий (организаций)-соисполнителей, их адреса с указанием лиц, ответственных по данному проекту и их реквизиты

3.	Место и сроки реализации проекта	Территория (район), где предполагается реализовать данный проект, начало и конец проектных работ
4.	Направленность проекта	Расширение жилищного фонда, развитие городской инфраструктуры и др.
5.	Цель и обоснованность проекта	Конкретная проблема, которая будет устранена или частично решена в результате осуществления данного проекта. Обоснование выбора с описанием уровня ее разработанности и коммерческого статуса
6.	Техническая спецификация	Блок-схема технологического процесса с указанием его роли в проекте. Схематический план предприятия с указанием участков, на которых реализуется проект. Основные технические параметры: объем производства; водо-и энергопотребление и т.д.
7.	Целевой эффект	Все виды эффектов, которые могут быть результатом реализации проекта, с количественными оценками и подтверждающими расчетами
8.	План-график реализации проекта	График с указанием этапов, сроков и видов проектных работ с указанием ответственных исполнителей
9.	Подрядчики и объемы закупок	Перечень и обоснование выбора подрядных организаций с указанием видов выполняемых работ (предоставляемых услуг), оборудования и материалов
10.	Инвестиции по проекту и другие единовременные затраты	Полный перечень оборудования и видов работ, которые могут потребоваться в связи с реализацией проекта, с указанием объемов, поставщиков и величины затрат по каждой позиции. Предложения заявителя о финансировании проекта с указанием общего объема инвестиций и предполагаемых источников финансирования: региональный бюджет; собственные ресурсы предприятий-организаций, осуществляющих проект; банковские ссуды с указанием сроков и условий их предоставления; другие источники
11.	Текущие расходы/прибыль в связи с реализацией проекта	Все источники увеличения текущих затрат или их экономии (например, на электроэнергию, на теплоснабжение). Полный бизнес план проекта.
Приложения:		
1.	Данные экономического анализ проекта	
2.	Данные экспертизы проекта	
3.	Технико-экономическое обоснование и/или другие обосновывающие проектные документы	
4.	Годовой балансовый отчет и отчет о прибылях и убытках (за два последних года и бюджет по текущему году) для предприятия, ориентированных на получение прибыли	
5.	Финансовая документация, подтверждающая возможность заявителя финансировать свою долю проекта	
6.	Тендерная документация (при наличии)	
7.	Разрешительные документы, требуемые законодательством для начала реализации проекта	

Ответственным за подготовку подробной проектной документации, в соответствии с указанной формой, является заявитель. Однако, как показывает практика, не исключены ситуации,

когда заявитель либо не имеет соответствующих технических возможностей, либо не обладает финансовыми средствами для подготовки необходимой проектной документации. В этих ситуациях, если концепция проекта достаточно интересна, заявителю может быть предоставлен гранд (безвозмездная финансовая помощь) на подготовку проекта, либо оказано иное содействие в подготовке проекта. В этом случае государственный орган должен потребовать, чтобы заявитель обеспечил достаточный уровень участия в подготовке проекта, иначе он может поставить вопрос об ограничении прав собственности заявителя на данный проект.

7.3. ЭКСПЕРТНАЯ ОЦЕНКА ПРОЕКТОВ

Когда подробная заявка по проекту получена, орган, ответственный за реализацию программ развития региона, проводит его оценку. Сущность оценки заключается в полном и всестороннем анализе проекта, дающего основу для их ранжирования, утверждения и реализации. Несмотря на то, что заявители представляют заявку на проект в типовом формате (табл. 2.4), опыт показывает, что эти заявки часто не соответствуют требуемым стандартам, а значимость, придаваемая заявителем тем или иным позициям проекта, необязательно соответствуют весовым коэффициентам, применяемым лицами, оценивающими проект. [6]. Поэтому, лицо, оценивающее проект, как правило, составляет свое собственное краткое изложение проектной заявки, содержащее наиболее важную информацию о проекте. Анализ и обобщение опыта показывает целесообразность оценки строительных проектов по позициям, представленным в табл. 2.5.

Обобщенную оценку (P_0) строительных проектов целесообразно осуществлять с учетом их целевой эффективности (P_1), технической (P_2) и экономической (P_3) обоснованности, практической реализуемости (P_4). Каждая из указанных оценок (и их составляющих) дается по десятибалльной шкале (10-высшая, 1-низшая оценка) и рассчитывается по следующим формулам:

$$P_0 = 0,25 \sum_{i=1}^4 \mu_i P_i, \quad (2.104)$$

где μ_i – функции принадлежности, отражающие относительную значимость указанных аспектов оценки проектов ($\sum_{i=1}^4 \mu_i = 1$),

Т а б л и ц а 2.5. Позиции оценки строительных проектов

1. ЦЕЛЕВАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЕКТА:
1.1. Соответствие проекта приоритетным программам социально-экономического развития территории (района)
1.2. Степень воздействия реализации проекта на историческую инфраструктуру территории (района)
1.3. Прямое позитивное влияние проекта на социальные запросы населения (уровень социальной значимости проекта)
1.4. Наличие неблагоприятных экологических и техногенных последствий, связанных с реализацией проекта
1.5. Соответствие проекта строительным нормам и правилам
1.6. Качество предлагаемых технологий
1.7. Степень влияния проекта на развитие инфраструктуры территории (района)
1.8. Степень влияния проекта на эффективность реализации смежных проектов
2. ТЕХНИЧЕСКАЯ ОБОСНОВАННОСТЬ ПРОЕКТА:
2.1. Степень разработанности проектной документации
2.2. Качество технико-экономического обоснования проекта
2.3. Качество (уровень обоснованности) концепции проекта
2.4. Уровень разработанности предлагаемой к использованию технологии
2.5. Уровень обоснованности ожидаемого целевого эффекта
2.6. Возможность получения доп. эффектов от реализации проекта
3. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОБОСНОВАННОСТЬ ПРОЕКТА:
3.1. Сопоставимость возможностей самофинансирования заявителя с размером его прибыли от реализации проекта
3.2. Возможность самофинансирования проекта
3.3. Качество (уровень обоснованности) бизнес плана проекта
3.4. Реалистичность допущений при составлении бизнес плана проекта
3.5. Уровень проработки бизнес планов у соисполнителей проекта
4. ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗУЕМОСТЬ ПРОЕКТА:
4.1. Реалистичность предоставляемого бюджета для реализации проекта
4.2. Реалистичность графика реализации проекта
4.3. Реалистичность предполагаемых объемов закупок техники, оборудования, материалов
4.4. Уровень профессиональной подготовки команды проекта
4.5. Реалистичность создания кооперации исполнителей проекта
4.6. Степень согласованности проекта с другими смежными проектами

$$\begin{aligned}
P_1 &= 0,125 \sum_{i=1}^8 \mu_{1i} P_{1i}; & P_2 &= 0,167 \sum_{i=1}^6 \mu_{2i} P_{2i}; \\
P_3 &= 0,20 \sum_{i=1}^5 \mu_{3i} P_{3i}; & P_4 &= 0,143 \sum_{i=1}^6 \mu_{4i} P_{4i};
\end{aligned}
\tag{2.105}$$

где P_{1i} – составляющие целевой эффективности проекта (P_{11} – оценка соответствия проекта приоритетным программам развития региона; P_{12} – оценка степени воздействия проекта на историческую инфраструктуру; P_{13} – оценка позитивного влияния проекта на социальные запросы населения; P_{14} – оценка неблагоприятных экологических и техногенных последствий, связанных с реализацией проекта; P_{15} – оценка соответствия проекта СНиП; P_{16} – оценка качества предлагаемых технологий; P_{17} – оценка влияния проекта на развитие инфраструктуры территории (района); P_{18} – оценка степени влияния проекта на эффективность реализации смежных региональных проектов); μ_{1i} – значения соответствующих функций принадлежности: $\mu_{11} = 0,25$; $\mu_{12} = 0,20$; $\mu_{13} = 0,15$; $\mu_{14} = 0,15$; $\mu_{15} = 0,10$; $\mu_{16} = 0,05$; $\mu_{17} = 0,05$; $\mu_{18} = 0,05$. [5]

P_{2i} – составляющие технической обоснованности проекта (P_{21} – оценка степени разработанности проектной документации; P_{22} – оценка качества технико-экономического обоснования проекта; P_{23} – оценка обоснованности концепции проекта; P_{24} – оценка разработанности предлагаемой к использованию технологии; P_{25} – оценка обоснованности ожидаемого целевого эффекта; P_{26} – оценка возможности получения дополнительных эффектов от реализации проекта); μ_{2i} – значения соответствующих функций принадлежности: $\mu_{21} = 0,20$; $\mu_{22} = 0,10$; $\mu_{23} = 0,25$; $\mu_{24} = 0,10$; $\mu_{25} = 0,25$; $\mu_{26} = 0,10$.

P_{3i} – составляющие экономической обоснованности проекта (P_{31} – оценка сопоставимости прибыли от реализации проекта с общей прибылью заявителя за период реализации проекта; P_{32} – оценка возможности самофинансирования проекта; P_{33} – оценка обоснованности бизнес плана проекта; P_{34} – оценка реалистичности допущений, принятых при составлении бизнес плана проекта; P_{35} – оценка уровня проработки бизнес планов у соисполнителей

проекта); μ_{3i} – значения соответствующих функций принадлежности: $\mu_{31} = 0,20$; $\mu_{32} = 0,20$; $\mu_{33} = 0,25$; $\mu_{34} = 0,25$; $\mu_{35} = 0,10$.

P_{4i} – составляющие практической реализуемости проекта (P_{41} – оценка реалистичности предоставляемого бюджета для реализации проекта; P_{42} – оценка реалистичности план-графика реализации проекта; P_{43} – оценка реалистичности предполагаемых объемов закупок техники, оборудования, материалов; P_{44} – оценка профессиональной подготовки руководителя проекта и его команды; P_{45} – оценка реалистичности создания кооперации исполнителей проекта; P_{46} – оценка степени согласования проекта с другими смежными проектами); μ_{4i} – значения соответствующих функций принадлежности: $\mu_{41} = 0,25$; $\mu_{42} = 0,15$; $\mu_{43} = 0,10$; $\mu_{44} = 0,15$; $\mu_{45} = 0,15$; $\mu_{46} = 0,10$; $\mu_{47} = 0,10$.

7.4. РАНЖИРОВАНИЕ И СОГЛАСОВАНИЕ (КООРДИНАЦИЯ) ПРОЕКТОВ

При ранжирование проектов целесообразно опираться на следующие критерии:

1. *Соответствие приоритетам.* Проект должен способствовать решению приоритетных социально-экономических проблем, установленных для территории региона в целом и отдельных городов и районов.

2. *Социально-экономическая эффективность.* В случае выбора из двух проектов одинаковой направленности при прочих равных условиях, предпочтение отдается проектам с большей социально-экономической эффективностью.

3. *Принцип дополнительности.* Цель финансирования проектов из регионального бюджета заключается в том, чтобы в первую очередь способствовать осуществлению тех проектов, которые не могут быть осуществлены без поддержки регионального бюджета. Следовательно, важным является, чтобы региональный бюджет не подменял другие источники финансирования – государственные или частные, которые могли бы быть использованы в случае отсутствия финансирования из средств регионального бюджета. Например, не должно быть покрытия затрат из средств регионального бюджета, осуществленных до получения позитивной ускоренной оценки или предоставления полного пакета до-

кументов по проекту (то есть ситуация ретроспективного финансирования считается неприемлемой).

4. *Использование апробированных технологий.* В целом предпочтение должно отдаваться проектам, использующим апробированные технологии или подходы, поскольку в этом случае положительный социально-экономический эффект будет более вероятен, чем в случае технологий, находящихся на стадии разработки.

5. *Возможность тиражирования в случае финансирования проекта, предусматривающего разработку новой технологии.* Если финансирование предоставляется для проекта, предусматривающего разработку новой технологии, то необходимо предусмотреть, чтобы данный проект расценивался бы как демонстрационный в данной технологической области, и в случае успешной реализации его результатов может быть использован на аналогичных производствах.

6. *Степень готовности проекта.* Если предъявлена неполная документация по проекту, то проект не должен приниматься к рассмотрению на предмет предоставления финансирования. Однако администрация может оказывать поддержку тому или иному проекту на стадии его подготовки, если сочтет какие-либо его аспекты заслуживающими особого внимания.

7. *Наличие независимой рецензии.* Наличие мнения независимого рецензента по концепции проекта рассматривается как положительный фактор.

8. *Предпочтение комплексным проектам.* Предпочтение следует отдавать проектам, которые направлены на комплексное решение проблем данной территории или района.

9. *Долевое участие в финансировании.* Среди нескольких идентичных проектов предпочтение следует отдавать проектам с наибольшей долей собственного финансирования предприятия, поскольку в этом случае достигается наибольший эффект от средств, затрачиваемых из регионального бюджета.

Согласование (координация) проектов. Анализ опыта практической реализации проектного цикла применительно к реальным строительным проектам показывает, что между их параметрами существуют связи взаимного влияния. Эти связи обусловлены тем, что реализация проектов опирается на общие или пересекающиеся ресурсы: водные, финансовые, энергетические, территориальные, технологические и другие [3, 6, 8].

Очевидно, что требуемый уровень развития региона в целом (или части его территории) может быть достигнут только в том случае, если при определении параметров строительных проектов будут учтены все существенные связи их взаимного влияния. В противном случае может оказаться, что проекты, эффективные по отдельности, в совокупности не только не будут содействовать достижению общей цели развития региона, но и окажут вредное влияние друг на друга. Процедуру уточнения (корректировки) параметров проектов с целью устранения возможных вредных связей и усиления полезных связей в интересах обеспечения наибольшей эффективности всей системы реализуемых в данном регионе проектов, назовем согласованием или координацией. Различие между этими понятиями состоит в следующем. Согласование параметров проектов осуществляется органами одного уровня иерархии (один из которых является инициатором согласования), либо органами различных уровней по указанию старшего начальника. Координация проектов всегда является прерогативой старшего органа.

Содержание координирующих (согласующих) решений в полной мере зависит от характера связей между параметрами проектов. Так, если между некоторыми проектами имеется конфликтная связь, например, вследствие общности используемого ресурса, то содержанием координирующего (согласующего) решения будет рациональное распределение этого ресурса с целью урегулирования конфликта. В этом случае координационное управление проектным циклом может быть осуществлено посредством планирования доходной части бюджета и установления приоритетных категорий распределения и целевого расходования средств. Планирование доходной части бюджета дает управления процессом утверждения проектов и распределения средств в целом, что в свою очередь способствует лучшему управлению потоком проектов. Доходную часть бюджета на год и на квартал следует готовить с опережением на год. Кроме того, полезно, если планы процентных соотношений при распределении ресурсов для отдельных категорий приоритетных направлений расходования готовились бы с учетом той или иной тенденции на 2-3 года, а распределение целевых расходов на отдельные категории в денежном выражении принималось бы на каждый квартал с опережением на год [6]. При этом планы приоритетного

расходования средств должны скорее определять категории, а не конкретные проекты.

7.5. УТВЕРЖДЕНИЕ, РЕАЛИЗАЦИЯ И ЗАВЕРШЕНИЕ ПРОЕКТОВ

После того, как будет принято решение о том, будет ли тот или иной проект принят или отклонен, необходимо сообщить об этом решении подателям заявок. Если проект отклонен, податель заявки должен получить разъяснение причины отклонения (например, недостаточный целевой эффект, несоответствие документации, ограниченность средств фонда и т. п.) и заключение о том, может ли данный проект после соответствующей доработки быть вновь представленным на рассмотрение в дальнейшем, или же подателю заявки следует поискать иной источник финансирования. Если проект принимается, распорядитель средств регионального бюджета и податель заявки должны согласовать и подписать договор о реализации проекта, в котором должны быть указаны условия финансирования и реализации проекта. Договор о реализации проекта обязывает подателя заявки к использованию предоставленных средств только на цели, предусмотренные в принятом проекте, и в рамках договора о его реализации.

Участие распорядителя средств на стадии реализации проекта сводится к выплате утвержденных средств, мониторингу реализации проекта и координации проектных циклов в масштабе региона. Договор о реализации проекта должен содержать требование, что закупки должны производиться на конкурентной основе. Это означает, что если возможных поставщиков данного товара или услуг несколько, то податель заявки должен запросить котировки от нескольких поставщиков.

Особая проблема возникает в связи с финансированием специальных строительных работ, выполняемых подателем заявки или соответствующими организациями. Распорядитель средств должен, по меньшей мере, потребовать от подателя заявки подтверждение ориентировочной стоимости с разбивкой по отдельным видам работ, человеко-дням и материалам, при этом величина указанных отдельных составляющих должна соответствовать уровню цен на текущий момент на рынке.

Распорядитель средств может в целом выбрать политику финансирования только тех затрат, которые связаны с внешними закупками, и потребовать от подателя заявки покрыть стоимость внутренних затрат за счет собственного финансирования. Выплаты должны осуществляться, главным образом, по предъявлению документов о произведенных затратах. Однако для небольших институциональных проектов может потребоваться авансовое финансирование. Тем не менее, податель заявки по такого рода проектам также должен представлять отчет о расходах после завершения реализации проекта. По окончании проекта неизрасходованные средства должны быть возвращены распорядителю средств. Совместно с заинтересованными органами распорядитель средств осуществляет мониторинг реализации проекта, обеспечивая соблюдение условий договора о реализации проекта и соответствующего законодательства.

Когда реализация проекта завершена, необходимо оценить результаты проекта с тем, чтобы в дальнейшем распространить позитивный и учесть негативный опыт. Для обеспечения независимого характера и объективности оценки должен выполнять специалист, который не имел непосредственного отношения к проекту на предшествующих этапах. Завершение реализации проекта должно быть подтверждено актами и отчетными документами установленного образца, которые представляются распорядителю средств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аржаков М.В., Дёмин Б.Е., Сырцов В.А. Параметрическая координация в многоуровневой иерархической системе с активными компонентами // Системы управления и информационные технологии, № 4(26), 2006. С.8-12.
2. Аржакова Н.В., Дегтярева О.Н., Дёмин Б.Е. Поиск и оценка компромиссов во взаимоотношениях «центр-предприятие» // Системы управления и информационные технологии, № 2(24), 2006. С. 59-64.
3. Баркалов С.А., Бабкин В.Ф. Управление проектами в строительстве: учебное пособие. – Воронеж: Изд-во ВГАСУ, 2000, – 310 с.

4. Баркалов С.А., Бурков В.Н., Гилязов Н.М. Методы агрегирования и управления проектами. – М., ИПУ РАН, 1999, – 68 с.
5. Баркалов С.А., Бурков В.Н., Курочка П.Н., Новосельцев В.И., Шульгин В.В. Системный анализ и его приложения: учебное пособие // Под ред. В.Н. Буркова / – Воронеж: «Научная книга», 2008. – 439 с.
6. Баркалов С.А., Буркова И.В., Курочка П.Н., Михин П.В. Модели и методы управления строительными проектами. – М.: «Уланов-пресс». 2007. – 440 с.
7. Бурков В.Н. Основы математической теории активных систем. – М.: Наука, 1977. – 255 с.
8. Бурков В.Н., Баркалов С.А. Модель согласования интересов в задаче управления проектами // Матем. моделирование информационных и технолог. процессов – Воронеж: ВГТА, 2003. Вып. 6. – С. 58-60.
9. Бурков В.Н., Кондратьев В.В. Механизмы функционирования организационных систем. – М.: Наука, 1981. – 383 с.
10. Воронин А.А., Губко М.В., Мишин С.П., Новиков Д.А. Математические модели организаций: Учебное пособие. – М.: ЛЕНАНД, 2008. – 360 с.
11. Гермейер Ю.Б. Игры с непротивоположными интересами. – М.: Наука, 1976. – 327 с.
12. Дегтярева О.Н. Поиск компромиссов во взаимоотношениях «центр-предприятие» – Воронеж: Изд-во «Научная книга», 2006. – 138 с.
13. Дёмин Б.Е., Полевой Ю.В. Модель квазирефлексивного управления с подражательным стохастическим механизмом // Системы управления и информационные технологии, № 5(93), 2006. С. 34-39.
14. Дружинин В.В., Конторов Д.С., Конторов М.Д. Введение в теорию конфликта. – М.: Радио и связь, 1989. – 288 с.
15. Кукушкин Н.С., Меньшикова О.Р., Меньшиков И.С. Компромиссы и конфликты / – М.: Знание (Новое в жизни, науке, технике. Сер. «Математика, кибернетика»), № 9, 1986.
16. Лефевр В.А. Конфликтующие структуры. – М.: Наука, 1973.
17. Математические основы управления проектами: Учебное пособие / Под ред. В.Н. Буркова. – М.: Высшая школа, 2005, 423 с.

18. Месарович М., Мако Д., Такахара Я. Теория иерархических многоуровневых систем. – М.: Мир, 1973.
19. Новиков Д.А. Теория управления организационными системами. – 2-е изд. – М.: Физматлит. 2007. – 584 с.
20. Новиков Д.А., Петраков С.Н. Курс теории активных систем. – М.: СИНТЕГ, 1999. – 108 с.
21. Новиков Д.А., Цветков А.В. Механизмы функционирования многоэлементных организационных систем. – М.: ИПУ РАН, 2001. – 188 с.
22. Новиков Д.А., Цветков А.В. Механизмы функционирования организационных систем с распределенным контролем. – М.: ИПУ РАН, 2001. – 118 с.
23. Новиков Д.А., Чхартишвили А.Г. Рефлексивные игры. – М.: СИНТЕГ, 2003. – 149 с.
24. Новосельцев В.И. Анатомия психики: системно-конфликтологический взгляд // Сб. тр. VI межд. конф. «Системы управления эволюцией организации (CSOE 2008)». – М.: ИПУ РАН, 2008. С. 36-54.
25. Новосельцев В.И. Системный анализ: современные концепции / изд. 2-е испр. и доп. – Воронеж: Кварта, 2003. – 320 с.
26. Новосельцев В.И., Полевой Ю. В. Системно-конфликтологические модели рефлексивного управления Воронеж: Изд-во «Кварта», 2008. – 108 с.
27. Полевой Ю.В. Условия стационарной устойчивости рефлексивного управления // Сб. тр. VI межд. конф. «Системы управления эволюцией организации (CSOE 2008)». – М.: ИПУ РАН, 2008. С. 58-64.
28. Полевой Ю.В. Феноменологическая модель, способы и схемы практической реализации рефлексивного управления // Информационно-аналитический журнал «ИнВестРегион» – Воронеж, №5, 2006. С. 45-48.
29. Цыганов В.В., Бородин В.А., Шишкин Г.Б. Интеллектуальное предприятие: механизмы овладения капиталом и властью. – М.: Университетская книга, 2004. – 768с.
30. Аржаков М.В., Аржакова Н.В., Новосельцев В.И. Управление конфликтами / Под ред. В.И. Новосельцева / – Воронеж: Изд-во Кварта, 2005. – 180 с.

ЧАСТЬ 3. МОДЕЛИ РЕФЛЕКСИВНЫХ ИГР

В первой главе «Информация в принятии решений», носящей, в основном, обзорный и вводный характер, приводятся модели индивидуального и интерактивного принятия решений, проводится анализ информированности, необходимой для реализации тех или иных известных концепций равновесия, а также обсуждаются модели общего знания и иерархии представлений.

Рефлексивной является игра, в которой информированность агентов не является общим знанием¹ и агенты принимают решения на основе иерархии своих представлений. С точки зрения теории игр и рефлексивных моделей принятия решений целесообразно разделять стратегическую и информационную рефлексии. *Информационная рефлексия* – процесс и результат размышлений агента о том, каковы значения неопределенных параметров, что об этих значениях знают и думают его оппоненты (другие агенты). При этом собственно «игровая» компонента отсутствует, так как никаких решений агент не принимает. *Стратегическая рефлексия* – процесс и результат размышлений агента о том, какие принципы принятия решений используют его оппоненты (другие агенты) в рамках той информированности, которую он им приписывает в результате информационной рефлексии.

Таким образом, информационная рефлексия обычно связана с недостаточной взаимной информированностью, и ее результат используется при принятии решений (в том числе – при стратегической рефлексии). Стратегическая рефлексия имеет место даже в случае полной информированности, предвзято принимая решение о выбранном действии. Другими словами, информационная и стратегическая рефлексии могут изучаться независимо, однако в условиях неполной и недостаточной информированности обе они имеют место.

Стратегическая рефлексия рассматривается во второй главе настоящей части. Оказывается, что если предположить, что агент, моделируя поведение оппонентов, приписывает им и себе определенные ранги рефлексии, то исходная игра превращается в новую игру, в которой стратегией агента является выбор ранга реф-

¹ Если в рассматриваемой модели информированность является общим знанием, то все результаты исследования рефлексивных игр переходят в соответствующие классические результаты теории игр – см. ниже.

лексии. Если рассмотреть процесс рефлексии в новой игре, то получим новую игру и т.д. При этом, даже если в исходной игре множество возможных действий было конечно, то в новой игре множество возможных действий – число различных рангов рефлексии – бесконечно. Следовательно, основной задачей, решаемой при исследовании стратегической рефлексии, является определение максимального целесообразного ранга рефлексии. Ответ на этот вопрос получен во второй главе для биматричных игр (раздел 2.2) и моделей, учитывающих ограниченность возможностей человека по переработке информации (раздел 2.3).

Приведем пример стратегической рефлексии – «Пенальти» (см. также примеры «Игра в прятки» и «Снос на мизере» в разделе 2.2). Агентами являются: игрок, бьющий по воротам, и вратарь. Предположим для простоты, что у игрока есть два действия – «бить в левый угол ворот» и «бить в правый угол ворот». У вратаря также есть два действия – «ловить мяч в левом углу» и «ловить мяч в правом углу». Если вратарь угадывает, в какой угол бьет игрок, то он ловит мяч.

Промоделируем рассуждения агентов. Пусть вратарю известно, что данный игрок обычно бьет в правый угол. Следовательно, ему нужно ловить мяч в правом углу. Но, если вратарь знает, что игроку известно, что вратарь знает, как обычно поступает игрок, то вратарю следует моделировать рассуждения игрока. Он может думать так: «Игроку известно, что я знаю его обычную тактику. Поэтому он ожидает, что я буду ловить мяч в правом углу и может ударить в левый угол. В этом случае мне надо ловить мяч в левом углу». Если игрок обладает достаточной глубиной рефлексии, то он может догадаться о рассуждениях вратаря и попытаться его перехитрить, ударив в правый угол. Эту же цепочку рассуждений может провести и вратарь и на этом основании ловить мяч в правом углу.

И игрок, и вратарь, могут увеличивать глубину рефлексии до бесконечности, проводя рассуждения друг за друга, и ни один из них не имеет рациональных оснований остановиться на некотором конечном шаге. Следовательно, в рамках моделирования взаимных рассуждений нельзя априори определить исход рассматриваемой игры. Сама игра, в которой у каждого из агентов есть по два возможных действия, может быть заменена на другую игру, в которой агенты выбирают ранги рефлексии, приписывае-

мые оппоненту. Но и в этой игре нет разумного решения, так как каждый агент может моделировать поведение оппонента, рассматривая «дважды рефлексивную» игру, и т.д.

Единственно, чем можно помочь в рассматриваемой ситуации агентам, так это ограничить глубину их рефлексии, подметив, что начиная со второго ранга рефлексии (в силу конечности исходного множества возможных действий) ситуация начинает повторяться – находясь как на нулевом, так и на втором (и, вообще, на любом четном) уровне рефлексии, игрок будет бить в правый угол. Следовательно, вратарю остается угадать четность уровня рефлексии игрока.

Максимальный ранг рефлексии, который следует иметь агенту для того, чтобы охватить все многообразие исходов игры (упуская из виду некоторые стратегии оппонента, агент рискует уменьшить свой выигрыш), назовем *максимальным целесообразным рангом рефлексии*. Оказывается, что во многих случаях этот ранг конечен – соответствующие формальные результаты приводятся в разделах 2.2 и 3.6). В примере «Пенальти» максимальный целесообразный ранг рефлексии агентов равен двум.

В случае отсутствия у вратаря информации о том, куда обычно бьет нападающий, действия последнего симметричны (левый и правый углы «равноценны»). Однако остаются возможности искусственно внести асимметрию, чтобы попытаться ею воспользоваться в своих целях. Например, вратарь может сдвинуться в сторону одного из углов, как бы приглашая нападающего ударить в другой (и бросается именно в тот, «дальний» угол). Более сложная стратегия состоит в следующем. Игрок команды вратаря подходит к нему и показывает, куда собирается бить нападающий, причем делает это так, что нападающий это видит (после чего в момент удара вратарь ловит мяч не в том углу, на который демонстративно показал ему товарищ по команде, а в противоположном). Заметим, что оба описанных приема взяты «из жизни» и оказались успешными. Первый имел место в международном матче сборной СССР, второй – в финале Кубка СССР по футболу в серии послематчевых пенальти.

Третья глава посвящена исследованию формальных моделей информационной рефлексии. Так как ключевым фактором в рефлексивных играх является информированность агентов – иерархия представлений, то для ее формального описания вводится

понятие *информационной структуры* – дерева (в общем случае – бесконечного), вершинам которого соответствует информация (представления) агентов о существенных параметрах, представлениях других агентов и т.д. (см. пример иерархии представлений выше).

Понятие структуры информированности (информационной структуры) позволяет дать формальное определение некоторых интуитивно ясных понятий, таких как: адекватная информированность одного агента о другом, взаимная информированность, одинаковая информированность и др.

Одним из ключевых понятий, применяемых для анализа рефлексивных игр, является понятие *фантомного агента*. Обсудим его на качественном уровне (отложив строгое математическое определение до раздела 3.2).

Пусть в некоторой ситуации взаимодействуют два агента – А и Б. Вполне естественно, что в сознании каждого из них имеется некий образ другого: у А имеется образ Б (назовем его АБ), а у Б – образ А (назовем его БА). Эти образы могут совпадать с реальностью, а могут отличаться от нее. Иными словами, агент, например, А может иметь адекватное представление о Б (этот факт можно записать в виде тождества $АБ = Б$), а может и не иметь.

Тут сразу возникает вопрос – а может ли в принципе выполняться тождество $АБ = Б$, ведь Б – это реальный агент, а АБ – лишь его образ? Не вдаваясь в обсуждение этого философского, по сути, вопроса, отметим следующие два обстоятельства. Во-первых, речь идет не о всецелом понимании личности во всей ее полноте, а о ее моделировании в данной конкретной ситуации. На обыденном, житейском уровне человеческого общения мы постоянно сталкиваемся с ситуациями как адекватного, так и неадекватного восприятия одним человеком другого.

Во вторых, в рамках формального (теоретико-игрового) моделирования человеческого поведения агент – участник ситуации – описывается относительно небольшим набором характеристик. И эти характеристики могут быть полностью известны другому агенту в той же мере, в какой они известны исследователю.

Рассмотрим подробнее случай, когда между Б и АБ имеется различие (это различие может проистекать, говоря формально, из неполноты информации А о Б, либо из доверия к ложной информации). Тогда А, принимая решение о каких-либо своих действи-

ях, имеет в виду не Б, а тот его образ, который у него имеется, то есть АБ. Можно сказать, что субъективно А взаимодействует с АБ. Поэтому АБ можно назвать фантомным агентом. Его нет в реальности, но он присутствует в сознании *реального агента* А и, соответственно, влияет на его действия, то есть на реальность.

Приведем простейший пример. Пусть А считает, что они с Б друзья, а Б, зная об этом, является врагом А (эту ситуацию можно описать словом «предательство»). Тогда, очевидно, в ситуации имеется фантомный агент АБ, которого можно описать так: «Б, являющийся другом А»; в реальности такой субъект отсутствует. Отметим, что при этом Б адекватно информирован об А, то есть $BA = A$.

Таким образом, помимо реальных агентов, фактически участвующих в игре, предлагается рассматривать фантомных агентов, то есть агентов, которые существуют в сознании реальных и других фантомных агентов. Реальные и фантомные агенты в рамках своей рефлексии наделяют фантомных агентов определенной информированностью, которая отражается в информационной структуре.

Участвующих в игре реальных и фантомных агентов может быть бесконечно много, что означает потенциальную бесконечность осуществления актов рефлексивного отражения (бесконечную глубину дерева структуры информированности). Действительно, даже в простейшей ситуации возможно бесконечное развертывание рассуждений вида «я знаю...», «я знаю, что ты знаешь...», «я знаю, что ты знаешь, что я знаю...», «я знаю, что ты знаешь, что я знаю, что ты знаешь...» и т. д. Однако на практике такая «дурная бесконечность» не имеет места, поскольку начиная с некоторого момента представления «стабилизируются», и увеличение ранга рефлексии не дает ничего нового. Таким образом, в реальных ситуациях структура информированности имеет конечную *сложность*: у соответствующего дерева имеется конечное число попарно различных поддеревьев. Иными словами, в игре участвует конечное число реальных и фантомных агентов².

² В предельном случае – когда присутствует общее знание – фантомный агент первого уровня совпадает со своим реальным прообразом и дерево имеет единичную глубину (точнее, все остальные поддеревья повторяют деревья более высокого уровня).

Введение понятия фантомных агентов позволяет определить рефлексивную игру как игру реальных и фантомных агентов, а также определить *информационное равновесие* как обобщение равновесия Нэша на случай рефлексивной игры, в рамках которого предполагается, что каждый агент (реальный и фантомный) при вычислении своего *субъективного равновесия* (равновесия в той игре, в которую он со своей точки зрения играет) использует имеющуюся у него иерархию представлений об объективной и рефлексивной реальности [89].

Удобным инструментом исследования информационного равновесия является *граф рефлексивной игры*, в котором вершины соответствуют реальным и фантомным агентам, и в каждую вершину-агента входят дуги (их число на единицу меньше числа реальных агентов), идущие из вершин-агентов, от действий которых в субъективном равновесии зависит выигрыш данного агента. Граф рефлексивной игры может быть построен и без конкретизации целевых функций агентов. При этом он отражает если не количественное соотношение интересов, то качественное соотношение информированности рефлексизирующих агентов, и является удобным и выразительным средством описания эффектов рефлексии (см. раздел 3.4).

Для описанного выше примера двух агентов граф рефлексивной игры имеет вид: $B \leftarrow A \leftrightarrow AB$ – реальный агент Б (предатель) адекватно информирован об агенте А, который взаимодействует с фантомным агентом АВ (Б, являющимся другом А).

Введение информационной структуры, информационного равновесия и графа рефлексивной игры, во-первых, позволяет с единых методологических позиций и с помощью единого математического аппарата описывать и анализировать разнообразные ситуации коллективного принятия решений агентами, обладающими различной информированностью, исследовать влияние рангов рефлексии на выигрыши агентов, изучать условия существования и реализуемости информационных равновесий и т.д. Многочисленные примеры прикладных моделей приведены ниже. Во-вторых, предложенная модель рефлексивной игры дает возможность изучать влияние рангов рефлексии (глубины информационной структуры) на выигрыши агентов. Полученные в разделах 2.2, 3.5 и 3.6 настоящей части результаты свидетельствуют, что при минимальных предположениях можно показать ог-

раниченность максимального целесообразного ранга рефлексии. Другими словами, во многих случаях неограниченное увеличение ранга рефлексии нецелесообразно с точки зрения выигрышей агентов. В-третьих, наличие модели рефлексивной игры позволяет определить условия существования и свойства информационного равновесия, а также конструктивно и корректно сформулировать задачу рефлексивного управления, заключающуюся в поиске управляющим органом такой информационной структуры, что реализующееся в ней информационное равновесие наиболее выгодно с его точки зрения. Задача рефлексивного управления ставится и решается для ряда случаев в разделе 3.7. Теоретические результаты ее решения используются в ряде приводимых в четвертой главе прикладных моделей – скрытое управление, информационное управление через СМИ и др. И, наконец, в-четвертых, язык рефлексивных игр (информационные структуры, графы рефлексивной игры и др.) является удобным для описания эффектов рефлексии как в психологии (что иллюстрируется на примере шахматной игры, транзакционного анализа, моделей этического выбора и др.), так и в художественных произведениях – см. четвертую главу настоящей части.

ГЛАВА 1. ИНФОРМАЦИЯ В ПРИНЯТИИ РЕШЕНИЙ

В первой главе приводится модель индивидуального принятия решений (раздел 1.1), проводится обзор основных концепций решения некооперативных игр, обсуждаются используемые в этих концепциях предположения об информированности и взаимной информированности агентов (раздел 1.2), анализируются известные модели информированности и общего знания (раздел 1.3).

1.1. ИНДИВИДУАЛЬНОЕ ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ: МОДЕЛЬ РАЦИОНАЛЬНОГО ПОВЕДЕНИЯ

Опишем, следуя [21, 58, 62], модель принятия решений единственным агентом. Пусть агент способен выбирать некоторое *действие* x из множества X допустимых действий. В результате выбора действия $x \in X$ агент получает выигрыш $f(x)$, где $f: X \rightarrow \mathcal{R}^1$ – действительнoзначная *целевая функция*, отражающая предпочтения агента.

Примем *гипотезу рационального поведения*, заключающуюся в том, что агент с учетом всей имеющейся у него информации выбирает действия, которые наиболее предпочтительны с точки зрения значений своей целевой функции (данная гипотеза не является единственно возможной – см., например, концепцию ограниченной рациональности [77]). В соответствии с гипотезой рационального поведения агент выбирает альтернативу из множества «лучших» альтернатив. В рассматриваемом случае это множество является множеством альтернатив, на которых достигается максимум целевой функции.

Следовательно, выбор действия агентом определяется *правилом индивидуального рационального выбора* $P(f, X) \subseteq X$, которое выделяет множество наиболее предпочтительных с точки зрения агента действий³:

$$P(f, X) = \text{Arg} \max_{x \in X} f(x).$$

Усложним модель, а именно предположим, что выигрыш агента определяется не только его собственными действиями, но и значением неопределенного параметра $\theta \in \Omega$ – *состояния природы*. То есть в результате выбора действия $x \in X$ и реализации состояния природы $\theta \in \Omega$ агент получает выигрыш $f(\theta, x)$, где $f: \Omega \times X \rightarrow \mathcal{H}$.

Если выигрыш агента зависит, помимо его действий, от неопределенного параметра – состояния природы, то в общем случае не существует однозначно «лучшего» действия – принимая решение о выбираемом действии, агент должен «предсказывать» состояние природы.

Поэтому введем *гипотезу детерминизма*, заключающуюся в том, что агент стремится устранить с учетом всей имеющейся у него информации существующую неопределенность и принимать решения в условиях полной информированности [21, 33] (другими словами, окончательный критерий, которым руководствуется агент, принимающий решения, не должен содержать неопределенных параметров). То есть агент должен в соответствии с гипотезой детерминизма устранить неопределенность относительно независящих от него параметров (быть может, путем введения определенных предположений об их значениях).

³ При использовании максимумов и минимумов подразумевается, что они достигаются.

В зависимости от той информации I , которой обладает агент о неопределенных параметрах, различают [21, 59]:

-интервальную неопределенность (когда известно только множество Ω возможных значений неопределенных параметров);

-вероятностную неопределенность (когда, помимо множества Ω возможных значений неопределенных параметров, известно их вероятностное распределение $p(\theta)$);

-нечеткую неопределенность (когда, помимо множества Ω возможных значений неопределенных параметров, известна функция принадлежности их значений).

В настоящей работе рассматривается простейший – «точечный» – случай, когда агенты имеют представления о конкретном значении состоянии природы. Введем следующее предположение относительно используемых агентом процедур устранения неопределенности: интервальная неопределенность устраняется вычислением *максимального гарантированного результата* (МГР), вероятностная – ожидаемого значения целевой функции, нечеткая – множества максимально недоминируемых альтернатив⁴.

Обозначим $f \Rightarrow_I \hat{f}$ – процедуру устранения неопределенности, то есть процесс перехода от целевой функции $f(\theta, x)$ к целевой функции $\hat{f}(x)$, которая не зависит от неопределенных параметров. В соответствии с введенным предположением в случае интервальной неопределенности $\hat{f}(x) = \min_{\theta \in \Omega} f(\theta, x)$, в случае вероятностной неопределенности $\hat{f}(x) = \int_{\Omega} f(x, \theta) p(\theta) d\theta$ и т.д. [58, 59].

Устранив неопределенность, получаем детерминированную модель, то есть правило индивидуального рационального выбора имеет вид:

$$P(f, X, I) = \text{Arg} \max_{x \in X} \hat{f}(x),$$

где I – информация, используемая агентом при устранении неопределенности $f \Rightarrow_I \hat{f}$.

⁴ Введенные предположения не являются единственно возможными. Использование других предположений (например, гипотезу об использовании МГР можно заменить гипотезой оптимизма, или гипотезой «взвешенного оптимизма-пессимизма» и т.д.) приведет к другим концепциям решения, однако процесс их получения будет следовать реализуемой ниже общей схеме.

До сих пор мы рассматривали индивидуальное принятие решений. Рассмотрим теперь *игровую неопределенность*, в рамках которой существенными являются предположения агента о множестве возможных значений *обстановки игры* (действий других агентов, выбираемых ими в рамках тех или иных неточно известных рассматриваемому агенту принципов поведения).

1.2. ИНТЕРАКТИВНОЕ ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ: ИГРЫ И РАВНОВЕСИЯ

Модель игры. Для описания коллективного поведения агентов недостаточно определить их предпочтения и правила индивидуального рационального выбора по отдельности. Как отмечалось выше, в случае, когда в системе имеется единственный агент, гипотеза его рационального (индивидуального) поведения предполагает, что агент ведет себя таким образом, чтобы выбором действия максимизировать значение своей целевой функции. В случае, когда агентов несколько, необходимо учитывать их взаимное влияние: в этом случае возникает *игра* – взаимодействие, в котором выигрыш каждого агента зависит как от его собственного действия, так и от действий других агентов. Если в силу гипотезы рационального поведения каждый из агентов стремится выбором действия максимизировать свою целевую функцию, то понятно, что в случае нескольких агентов индивидуально рациональное действие каждого из них зависит от действий других агентов⁵.

Рассмотрим теоретико-игровую модель взаимодействия между n агентами. Каждый агент осуществляет выбор *действия* x_i , принадлежащего *допустимому множеству* X_i , $i \in N = \{1, 2, \dots, n\}$ – *множеству агентов*. Выбор действий агентами осуществляется однократно, одновременно и независимо.

Выигрыш i -го агента зависит от его собственного действия $x_i \in X_i$, от вектора действий $x_{-i} = (x_1, x_2, \dots, x_{i-1}, x_{i+1}, \dots, x_n) \in X_{-i}$.

⁵ В теоретико-игровых моделях предполагается, что рациональность игроков, то есть следование их гипотезе рационального поведения, является общим знанием. В настоящей работе это предположение также принимается.

$i = \prod_{j \in N \setminus \{i\}} X_j$ оппонентов $N \setminus \{i\}$ и от состояния природы⁶ $\theta \in \Omega$, и описывается действительной функцией выигрыша $f_i = f_i(\theta, x)$, где $x = (x_i, x_{-i}) = (x_1, x_2, \dots, x_n) \in X' = \prod_{j \in N} X_j$ – вектор

действий всех агентов. При фиксированном значении состояния природы совокупность $\Gamma = (N, \{X_i\}_{i \in N}, \{f_i(\cdot)\}_{i \in N})$ множества агентов, множеств их допустимых действий и целевых функций называется *игрой в нормальной форме*. Решением игры (равновесием) называется множество устойчивых в том или ином смысле векторов действий агентов [15, 21, 65, 68, 86, 109, 126, 132].

В силу гипотезы рационального поведения каждый агент будет стремиться выбрать наилучшие для него (с точки зрения значения его целевой функции) действия при заданной обстановке. Обстановкой для него будет совокупность обстановки игры $x_{-i} \in X_{-i}$ и состояния природы $\theta \in \Omega$. Следовательно, принцип принятия им решения о выбираемом действии можно записать следующим образом (BR обозначает наилучший ответ – *best response*):

$$BR_i(\theta, x_{-i}) = \text{Arg} \max_{x_i \in X_i} f_i(\theta, x_i, x_{-i}), i \in N. \quad (3.1)$$

Рассмотрим возможные принципы принятия решений агентами, каждый из которых порождает соответствующую концепцию равновесия, то есть определяет, в каком смысле устойчивым должен быть прогнозируемый исход игры. Параллельно будем обсуждать ту информированность, которая необходима для реализации равновесия.

Равновесие в доминантных стратегиях. Если для некоторого агента множество (3.1) не зависит от обстановки, то оно составляет множество его доминантных стратегий (совокупность доминантных стратегий агентов называется *равновесием в доминантных стратегиях* – РДС) [21]. Если у каждого из агентов существует доминантная стратегия, то они могут принимать решения независимо, то есть выбирать действия, не имея никакой информации и не делая никаких предположений об обстановке. К сожалению, РДС существует далеко не во всех играх.

⁶ Состояние природы может быть, в том числе, вектором, компоненты которого отражают индивидуальные характеристики агентов.

Для реализации агентами равновесия в доминантных стратегиях, если последнее существует, достаточно знания каждым из них только своей целевой функции и допустимых множеств X' и Ω .

Гарантирующее равновесие. Той же информированностью должны обладать агенты для реализации *гарантирующего* (максиминного) равновесия, которое существует почти во всех играх:

$$x_i^e \in \text{Arg max}_{x_i \in X_i} \min_{x_{-i} \in X_{-i}} \min_{\theta \in \Omega} f_i(\theta, x_i, x_{-i}), i \in N \quad (3.2).$$

Если хотя бы для одного из агентов множество (3.2) зависит от обстановки (то есть не существует РДС), то дело обстоит более сложным образом. Исследуем соответствующие случаи.

Равновесие Нэша. Определим многозначное отображение

$$BR(\theta, x) = (BR_1(\theta, x_{-1}); BR_2(\theta, x_{-2}), \dots, BR_n(\theta, x_{-n})). \quad (3.3)$$

Равновесием Нэша [21, 68, 132] при состоянии природы θ (точнее – *параметрическим равновесием Нэша*) называется точка $x^*(\theta) \in X'$, удовлетворяющая следующему условию:

$$x^*(\theta) \in BR(\theta, x^*(\theta)). \quad (3.4)$$

Вложение (3.4) можно также записать в виде:

$$\forall i \in N, \forall y_i \in X_i \quad f_i(\theta, x^*(\theta)) \geq f_i(\theta, y_i, x_{-i}^*(\theta)).$$

Множество $E_N(\theta)$ всех точек вида (3.4) можно описать следующим образом:

$$E_N(\theta) = \{x \in X' \mid x_i \in BR_i(\theta, x_{-i}), i \in N\}. \quad (3.5)$$

Для случая двух агентов альтернативным эквивалентным способом определения множества $E_N(\theta)$ является его задание в виде множества пар точек $(x_1^*(\theta), x_2^*(\theta))$, одновременно удовлетворяющих следующим условным соотношениям [17, 109, 132]:

$$x_1^*(\theta) \in BR_1(\theta, BR_2(\theta, BR_1(\theta, \dots BR_2(\theta, x_2^*(\theta)) \dots))), \quad (3.6)$$

$$x_2^*(\theta) \in BR_2(\theta, BR_1(\theta, BR_2(\theta, \dots BR_1(\theta, x_1^*(\theta)) \dots))). \quad (3.7)$$

Рассмотрим, какой информированностью должны обладать агенты, чтобы реализовать равновесие Нэша путем одновременного и независимого выбора своих действий.

По определению равновесие Нэша является той точкой, одностороннее отклонение от которой невыгодно ни для одного из агентов (при условии, что остальные агенты выбирают соответствующие компоненты равновесного по Нэшу вектора действий). Если агенты многократно осуществляют выбор действий, то точка Нэша является в определенном смысле (см. подробности в

[63]) устойчивой и может считаться реализуемой в рамках знания, как и в случае с РДС, каждым агентом только своей целевой функции и допустимых множеств X' и Ω (при этом, правда, необходимо введение дополнительных предположений о принципах принятия агентами решений о выборе действий в зависимости от истории игры [34, 56, 109]).

В настоящей работе рассмотрение ограничивается одношаговыми играми, поэтому в случае однократного выбора агентами своих действий знания ими только своих целевых функций и множеств X' и Ω для реализации равновесия Нэша уже недостаточно. Поэтому введем следующее предположение, которое будем считать выполненным в ходе всего последующего изложения: информация об игре Γ , множестве Ω и рациональности агентов является общим знанием.

Содержательно введенное предположение означает, что каждый из агентов рационален, знает множество участников игры, целевые функции и допустимые множества всех агентов, а также знает множество возможных значений состояний природы. Кроме того, он знает, что другие агенты знают это, а также то, что они знают, что он это знает и т.д. до бесконечности (см. выше). Такая информированность может, в частности, достигаться публичным (то есть одновременно всем агентам собранным вместе) сообщением соответствующей информации, что обеспечивает возможное достижение всеми агентами бесконечного *ранга информационной рефлексии*. Отметим, что введенное предположение ничего не говорит об информированности агентов относительно конкретного значения состояния природы.

Если значение состояния природы является общим знанием, то этого оказывается достаточно для реализации равновесия Нэша. В качестве обоснования этого утверждения промоделируем на примере игры двух лиц ход рассуждений первого агента (второй агент рассуждает полностью аналогично, и его рассуждения будут рассматриваться отдельно только в том случае, если они отличаются от рассуждений первого агента). Он рассуждает следующим образом (см. выражение (3.6)): «Мое действие, в силу (3.1), должно быть наилучшим ответом на действие второго агента при заданном состоянии природы. Следовательно, мне надо промоделировать его поведение. Про него (в силу предположения о том, что целевые функции и допустимые множества являются

общим знанием) мне известно, что он будет действовать в рамках (3.1), то есть будет искать наилучший ответ на мои действия при заданном состоянии природы (см. (3.7)). Для этого ему необходимо промоделировать мои действия. При этом он будет (опять же, в силу введенных предположений о том, что целевые функции и допустимые множества являются общим знанием) рассуждать так же, как и я, и т.д. до бесконечности (см. (3.6))». В теории игр для подобных рассуждений используется удачная физическая аналогия отражения в зеркалах – см., например, [48].

Таким образом, для реализации равновесия Нэша достаточно, чтобы все параметры игры, а также значение состояния природы были общим знанием (ослабление этого предположения рассмотрено в [97]). Рассматриваемые в настоящей работе рефлексивные игры характеризуются тем, что значение состояния природы не является общим знанием, и каждый агент в общем случае имеет собственные представления об этом значении, представлениях других агентов и т.д.

Субъективное равновесие. Рассмотренные виды равновесия являются частными случаями *субъективного равновесия*, которое определяется как вектор действий агентов, каждая компонента которого является наилучшим ответом соответствующего агента на ту обстановку игры, которая может реализоваться с его субъективной точки зрения. Рассмотрим возможные случаи.

Предположим, что i -й агент рассчитывает на реализацию обстановки игры \hat{x}_{-i}^B ("B" обозначает *beliefs*; иногда используются термины «предположение», «догадка» – *conjecture*) и состояния природы $\hat{\theta}_i$, тогда он выберет

$$x_i^B \in BR_i(\hat{\theta}_i, \hat{x}_{-i}^B), i \in N. \quad (3.8)$$

Вектор x^B является *точечным субъективным равновесием*. Отметим, что при таком определении «равновесия» не требуется обоснованности предположений агентов о действиях оппонентов, то есть может оказаться, что $\exists i \in N: \hat{x}_{-i}^B \neq y_{-i}^B$. Обоснованное субъективное равновесие, то есть такое, что $\hat{x}_{-i}^B = y_{-i}^B, i \in N$, является равновесием Нэша (для этого, в частности, достаточно, чтобы все параметры игры были общим знанием, и чтобы каждый агент при построении \hat{x}_{-i}^B моделировал рациональное поведение оппонентов). В частном случае, если наилучший ответ каждого

агента не зависит от предположений об обстановке, то субъективное равновесие является равновесием в доминантных стратегиях.

В более общем случае i -й агент может рассчитывать на выбор оппонентами действий из множества $X_{-i}^B \subseteq X_{-i}$ и реализацию состояния природы из множества $\bar{\Omega}_i \subseteq \Omega$, $i \in N$. Тогда наилучшим ответом будет *гарантирующее субъективное равновесие*:

$$x_i(X_{-i}^B, \bar{\Omega}_i) \in \text{Arg max}_{x_i \in X_i} \min_{x_{-i} \in X_{-i}^B} \min_{\theta \in \bar{\Omega}_i} f_i(\theta, x_i, x_{-i}), i \in N. \quad (3.9)$$

Если $X_{-i}^B = X_{-i}$, $\bar{\Omega}_i = \Omega$, $i \in N$, то $x_i(X_{-i}^B) = x_i^e$, $i \in N$, то есть гарантирующее субъективное равновесие является «классическим» гарантирующим равновесием. Разновидностью гарантирующего субъективного равновесия является П-равновесие, подробно описанное в [9].

В еще более общем случае в качестве наилучшего ответа i -го агента можно рассматривать распределение вероятностей $p_i(x_i)$, где $p_i(\cdot) \in \Delta(X_i)$ – множеству всевозможных распределений на X_i , которое максимизирует ожидаемый выигрыш агента с учетом его представлений о распределении вероятностей $\mu_i(x_{-i}) \in \Delta(X_{-i})$ действий, выбираемых другими агентами, и распределении вероятностей $q_i(\theta) \in \Delta(\Omega)$ состояния природы (получим *Байесов принцип принятия решений*):

$$p_i(\mu_i(\cdot), q_i(\cdot), \cdot) = \\ = \arg \max_{p_i \in \Delta(X_i)} \int_{X', \Omega} f_i(\theta, x_i, x_{-i}) p_i(x_i) q_i(\theta) \mu_i(x_{-i}) d\theta dx, i \in N. \quad (3.10)$$

Таким образом, для реализации субъективного равновесия требуется минимальная информированность агентов – каждый из них должен знать свою целевую функцию $f_i(\cdot)$ и допустимые множества Ω и X' . Однако при такой информированности совокупность предположений агентов о состоянии природы и о поведении оппонентов могут быть *несогласованными*. Для достижения согласованности, то есть для того, чтобы предположения оправдывались, необходимы дополнительные предположения о взаимной информированности агентов. Наиболее сильным является предположение об общем знании, которое превращает субъективное точечное равновесие в равновесие Нэша, а совокупность Байесовых принципов принятия решений – в равновесие Байеса–Нэша.

Равновесие Байеса–Нэша. Если в игре имеется неполная информация (см. [114]), то Байесова игра описывается следующим набором:

- множеством N агентов;

- множеством K возможных *типов* агентов, где тип i -го агента $k_i \in K_i, i \in N$, вектор типов $k = (k_1, k_2, \dots, k_n) \in K' = \prod_{i \in N} K_i$;

- множеством $X' = \prod_{i \in N} X_i$ допустимых векторов действий агентов;

тов;

- набором функций полезности $u_i: K' \times X' \rightarrow \mathcal{H}$;

- представлениями $\mu_i(\cdot | k_i) \in \Delta(K_{-i}), i \in N$, агентов.

Равновесие Байеса–Нэша в игре с неполной информацией определяется как набор стратегий агентов вида $\sigma_i: K_i \rightarrow X_i, i \in N$, которые максимизируют соответствующие ожидаемые полезности

$$\begin{aligned} U_i(k_i, \sigma_i(\cdot), \sigma_{-i}(\cdot)) &= \\ &= \int_{k_{-i} \in \prod_{j \neq i} K_j} u_i(k, \sigma_i(k_i), \sigma_{-i}(k_{-i})) \mu_i(k_{-i} | k_i) dk_{-i}, i \in N. \end{aligned} \quad (3.11)$$

В Байесовых играх, как правило, предполагается, что представления $\{\mu_i(\cdot | \cdot)\}_{i \in N}$ являются общим знанием. Для этого, в частности, достаточно, чтобы они были *согласованы*, то есть выводились каждым из агентов по формуле Байеса из распределения $\mu(k) \in \Delta(K')$, которое является общим знанием.

Для Баяесовых игр, в которых $\{\mu_i(\cdot | \cdot)\}_{i \in N}$ является общим знанием, в [100, 135] введено понятие *рационализируемых стратегий* (*rationalizable strategies*) $D_i \subseteq \Delta(X_i), i \in N$, таких что $D_i \subseteq BR_i(D_{-i}), i \in N$. В играх двух лиц множество рационализируемых стратегий совпадает с множеством стратегий, полученным в результате итеративного исключения строго доминируемых стратегий⁷ [132]. Обобщение рационализируемых стратегий на случай

⁷ Напомним, что строго доминируемой (*strongly dominated*) называется такая стратегия агента, что найдется другая его стратегия, которая при любой обстановке обеспечивает этому агенту строго больший выигрыш. Итеративное исключение (*iterative elimination*) строго доминируемых стратегий заключается в последовательном (в общем случае бесконечном) их исключении из множества рассматриваемых стратегий агентов, что приводит к нахождению «слабейшего» решения игры – множества недоминируемых стратегий.

максиминного (гарантирующего) равновесия осуществлено в [94]. Возможно усложнение конструкций субъективного равновесия за счет введения запретов на определенные комбинации действий агентов и т.д. Таким образом, реализация РДС, гарантирующего и субъективного равновесия (если они существуют) требует, чтобы каждый агент обладал, как минимум, информацией о своей целевой функции и всех допустимых множествах, а реализация равновесия Нэша, если оно существует, дополнительно требует, чтобы значения всех существенных параметров являлись общим знанием.

Еще раз отметим, что реализуемость равновесия Нэша подразумевает возможность агентов (и управляющего органа – *центра*, или исследователя операций, если они обладают соответствующей информацией) априори и независимо рассчитать равновесие Нэша и в одношаговой игре сразу выбрать равновесные по Нэшу действия (при этом отдельный вопрос заключается в том, какое из равновесий выберут агенты и центр, если равновесий Нэша несколько [86]). Качественно, общее знание необходимо для того, чтобы каждый из агентов (и центр) мог промоделировать принципы принятия решений другими агентами, в том числе учитывающими его собственные принципы принятия решений и т.д.

Следовательно, можно сделать вывод о том, что концепция решения игры тесно связана с информированностью агентов. Такие концепции решения, как РДС и равновесие Нэша, являются в некотором смысле предельными случаями – первая требует минимальной информированности, вторая – бесконечности ранга информационной рефлексии всех агентов. Поэтому ниже мы опишем другие («промежуточные») случаи информированности агентов – иерархии представлений – и построим соответствующие им решения игры. Прежде чем реализовывать эту программу, проведем обзор известных моделей общего знания и иерархии представлений.

1.3. ОБЩИЕ ПОДХОДЫ К ОПИСАНИЮ ИНФОРМИРОВАННОСТИ

В рассмотренных в предыдущем разделе концепциях равновесия (за исключением, наверное, равновесий Нэша и Байеса-Нэша, в которых предполагается наличие общего знания) рефлексия от-

существует, так как каждый агент не пытается встать на позицию оппонентов.

Рефлексия имеет место в случае, когда агент имеет и использует при принятии решений иерархию представлений – свои представления о представлениях других агентов, их представлениях о его представлениях и представлениях друг друга и т.д. Анализ представлений о неопределенных факторах соответствует информационной рефлексии, а представлений о принципах принятия решений – стратегической рефлексии. В терминах субъективного равновесия стратегической рефлексии соответствуют предположения агента о том, что оппонент будет вычислять то или иное конкретное, например субъективное гарантирующее, равновесие, а информационной рефлексии – какие конкретные предположения об обстановке будет использовать оппонент.

Рассмотрим известные на сегодняшний день⁸ подходы к описанию иерархии представлений и общего знания.

Как отмечается в [97, 99, 115], различают два подхода к описанию информированности – *синтаксический* и *семантический* (напомним, что «синтактика – синтаксис знаковых систем, то есть структура сочетания знаков и правил их образования и преобразования безотносительно к их значениям и функциям знаковых систем», «семантика – изучает знаковые систем как средства выражения смысла, основной ее предмет представляют интерпретации знаков и знакосочетаний» [84, С. 601]). Основы этих подходов были заложены в математической логике [116, 119].

При синтаксическом подходе иерархия представлений описывается в явном виде. Если представления задаются распределением вероятностей, то иерархии представлений на некотором уровне иерархии соответствуют распределения на произведении множества состояний природы и распределений, отражающих представления предыдущих уровней [128]. Альтернативой является использование «формул» (в логическом смысле), то есть правил преобразования элементов исходного множества на основе применения логических операций и операторов вида «игрок i счита-

⁸ Следует отметить, что иерархии представлений и общее знание стали предметом исследований в теории игр совсем недавно – пионерскими являются упомянутые выше книга D. Lewis (1969) и статья R. Aumann (1976). Анализ хронологии публикаций (см. библиографию) свидетельствует о растущем интересе к этой проблемной области.

ет, что вероятность события ... не меньше α » [115, 144]. При этом знание моделируется предложениями (формулами), конструируемыми в соответствии с определенными синтаксическими правилами.

В рамках семантического подхода представления агентов задаются распределениями вероятностей на множестве состояний природы. Иерархия представлений при этом порождается исходя только из этих распределений. В простейшем детерминированном случае знание представляется множеством Ω возможных значений неопределенного параметра и разбиениями $\{P_i\}_{i \in N}$ этого множества. Элемент разбиения P_i , включающий $\theta \in \Omega$, представляет собой знание i -го агента – множество значений неопределенного параметра, неразличимых с его точки зрения при известном факте θ [96, 99].

Соответствие (условно говоря, «эквивалентность») между синтаксическим и семантическими подходами установлено в [97, 140 и др.].

Особо следует отметить экспериментальные исследования иерархий представлений в [103, 133, 141 и др.] – см. обзор в [143].

Проведенный краткий обзор свидетельствует, что существуют две «крайности». Первая «крайность» – общее знание (заслугой Дж. Харшаньи [114] является то, что он свел всю информацию об агенте, влияющую на его поведение, к единственной его характеристике – типу – и построил равновесие (Байеса-Нэша) в рамках гипотезы о том, что распределение вероятностей типов является общим знанием). Вторая «крайность» – бесконечная иерархия согласованных или несогласованных представлений. Примером последней служит конструкция, приведенная в [128], которая, с одной стороны, описывает все возможные Баясовы игры и все возможные иерархии представлений, а, с другой стороны, (в силу своей общности) настолько громоздка, что не позволяет конструктивно ставить и решать конкретные задачи.

Большинство исследований информированности посвящено ответу на вопрос: в каких случаях иерархия представлений агентов описывает общее знание и/или адекватно отражает информированность агентов [102, 105 и др.]. Зависимость решения игры от конечной иерархии согласованных или несогласованных представлений агентов (то есть весь диапазон между двумя отмеченными выше «крайностями») практически не исследовалась. Ис-

ключения составляют, во-первых, работа [139], в которой равновесия Байеса–Нэша для трехуровневых иерархий несогласованных вероятностных представлений двух агентов строились в предположении, что на нижнем уровне иерархии представления совпадают с представлениями предыдущего уровня – см. также предположения типа Π_m и соответствующие равновесия в [62]. Во-вторых – третья глава настоящей работы, в которой описываются произвольные (конечные или бесконечные, согласованные или несогласованные) иерархии «точечных» представлений, для которых строится и исследуется информационное равновесие – равновесие рефлексивной игры (возможность и целесообразность обобщения полученных результатов на случай интервальных или вероятностных представлений агентов обсуждается в заключении).

Таким образом, актуальным является как исследование стратегической рефлексии (глава 2 настоящей работы), так и построение решения рефлексивной игры, и изучение зависимости этого равновесия от иерархии представлений агентов (глава 3 настоящей работы).

ГЛАВА 2. СТРАТЕГИЧЕСКАЯ РЕФЛЕКСИЯ

В настоящей главе исследуются теоретико-игровые модели стратегической рефлексии. В разделе 2.1 изучается модель стратегической рефлексии в игре двух лиц, что в разделе 2.2 позволяет решить задачу о максимальном целесообразном ранге стратегической рефлексии в биматричных играх. Раздел 2.3 посвящен обсуждению конечности ранга рефлексии, порождаемой ограниченностью способностей человека по переработке информации.

2.1. СТРАТЕГИЧЕСКАЯ РЕФЛЕКСИЯ В ИГРАХ ДВУХ ЛИЦ

Рассмотрим последовательно, в порядке возрастания информированности, рефлексивные модели принятия решений в играх двух лиц.

Нулевой ранг рефлексии. Рассмотрим проблему принятия агентом решения в случае полного отсутствия информации о состоянии природы (напомним, что предположение о том, что це-

левые функции и допустимые множества являются общим знанием, считается выполненным). Представляется разумным, с одной стороны, принцип принятия решений на основе максимального гарантированного результата, в соответствии с которым i -й агент выберет гарантирующую (по состоянию природы и действию оппонента) стратегию

$${}_1x_i^e = \arg \max_{x_i \in X_i} \min_{\theta \in \Omega} \min_{x_{-i} \in X_{-i}} f_i(\theta, x_i, x_{-i}). \quad (3.12)$$

С другой стороны, гипотетически принцип (3.12) принятия решений не является единственно возможным – агент может рассчитывать, что его оппонент выберет не наихудшее действие, а собственную гарантирующую стратегию (отметим, что каждый агент может вычислить гарантирующую стратегию оппонента). Тогда наилучшим ответом будет

$${}_2x_i^e = \arg \max_{x_i \in X_i} \min_{\theta \in \Omega} f_i(\theta, x_i, {}_1x_{-i}^e). \quad (3.13)$$

Но аналогичным образом может рассуждать оппонент рассматриваемого агента. Если рассматриваемый агент допускает такую возможность, тогда его гарантирующей стратегией будет

$${}_3x_i^e = \arg \max_{x_i \in X_i} \min_{\theta \in \Omega} f_i(\theta, x_i, {}_2x_{-i}^e), \quad (3.14)$$

где ${}_2y_{-i}^e$ вычисляется в соответствии с (3.13) заменой индекса « i » на « $-i$ » и наоборот.

Цепочку наращивания «ранга рефлексии» (предположений агента о ранге рефлексии оппонента) можно продолжать и далее (см. аналогии в динамических моделях, рассматриваемых в [66]), определив рекуррентно

$${}_kx_i^e = \arg \max_{x_i \in X_i} \min_{\theta \in \Omega} f_i(\theta, x_i, {}_{k-1}x_{-i}^e), \quad k = 2, 3, \dots, \quad (3.15)$$

где ${}_1x_i^e$, $i = 1, 2$, определяются (3.12). Набор действий типа (3.15) будем называть множеством *рефлексивных гарантирующих стратегий*.

Рассмотрим иллюстративный пример.

Пример 1. Пусть целевые функции агентов имеют вид:

$$f_1(x_1, x_2) = x_1 - x_1^2/2x_2, \quad f_2(x_1, x_2) = x_2 - x_2^2/2(x_1 + \delta),$$

где $\delta > 0$. Относительно допустимых множеств предположим, что $X_1 = X_2 = [\varepsilon, 1]$, $0 < \varepsilon < 1$. Будем считать, что каждая из констант ε и δ много меньше единицы. Гарантирующие стратегии агентов приведены в табл.3.1.

Т а б л и ц а 3.1. Гарантирующие стратегии агентов в примере 1

k	1	2	3	4	5	6	7	...
${}_k x_1^c$	ε	$\varepsilon + \delta$	$\varepsilon + \delta$	$\varepsilon + 2\delta$	$\varepsilon + 2\delta$	$\varepsilon + 3\delta$	$\varepsilon + 3\delta$...
${}_k x_2^c$	$\varepsilon + \delta$	$\varepsilon + \delta$	$\varepsilon + 2\delta$	$\varepsilon + 2\delta$	$\varepsilon + 3\delta$	$\varepsilon + 3\delta$	$\varepsilon + 4\delta$...

Видно, что, во-первых, значения гарантирующих действий увеличиваются с ростом «ранга рефлексии». Во-вторых, различным «рангам рефлексии» агентов соответствуют в общем случае различные гарантирующие действия (отметим, что равновесием⁹ Нэша в данном примере является вектор $(1; 1)$) •.¹⁰

Вопрос о том, какое действие следует выбирать агенту, остается открытым. Единственно, можно констатировать, что, обладая информацией только о множестве возможных значений состояния природы, i -й агент может выбирать одно из действий ${}_k y_i^c$, $i = 1, 2$; $k = 1, 2, \dots$, определяемых выражениями (3.12) и (3.15).

Доопределить рациональный выбор агента в рассматриваемой модели можно следующим образом. Если агенту неизвестна целевая функция оппонента (что исключено в рамках предположения о том, что целевые функции и допустимые множества являются общим знанием), то единственным его рациональным действием является выбор (3.12), то есть классический МГР. В рамках введенных предположений агенту известна целевая функция оппонента, а также известно, что оппоненту известен этот факт и т.д. Поэтому с точки зрения агента нерационально использование классического МГР, и ему следует рассчитывать, как минимум, что оппонент будет использовать МГР, что приведет к выбору ${}_2 x_i^c$. Но, опять же, в силу того, что целевые функции являются общим знанием, агент может предположить, что такой ход его

⁹ В качестве отступления заметим, что, если в рассматриваемом примере целевая функция второго агента имеет вид $f_2(x_1, x_2) = x_2 + y_2^2/2x_1$, то у него существует доминантная стратегия (равная единице), и последовательность гарантирующих стратегий первого агента стабилизируется уже на втором члене: ${}_1 x_i^c = \varepsilon$, ${}_2 x_i^c = 1/2$. Если первый агент может вычислить доминантную стратегию своего оппонента, то представляется рациональным выбор им действия ${}_2 x_i^c$.

¹⁰ Символ «•» здесь и далее обозначает окончание примера или доказательства.

рассуждений может быть восстановлен оппонентом, что сделает целесообразным выбор ${}_3x_i^e$ и т.д. до бесконечности. Следовательно, с точки зрения агента остается неопределенность относительно «ранга рефлексии» оппонента.¹¹ Относительно этого параметра он не имеет никакой информации (если у агента имеются некоторые убеждения по этому поводу, то может реализоваться соответствующее субъективное равновесие), что делает рациональным использование гарантированного результата по «рангу рефлексии» оппонента:

$$x'_i = \arg \max_{y_i \in A_i} \min_{j=1,2,\dots} \min_{\theta \in \Omega} f_i(\theta, x_i, {}_jx_{-i}^e). \quad (3.16)$$

Отметим, что, во-первых, x'_i может отличаться от классической гарантирующей стратегии ${}_1x_i^e$, определяемой выражением (3.12). Во-вторых, при использовании стратегии (3.16) факт наличия доминантной стратегии оппонента будет учтен агентом (см. сноску в примере 1).

В табл. 3.2 приведены значения целевой функции первого агента в примере 1 в зависимости от «ранга рефлексии» оппонента и соответствующие действия оппонента. Видно, что при использовании стратегии (3.16) выигрыш i -го агента равен $\varepsilon + \delta$, что превышает выигрыш ε , получаемый при использовании классического МГР.

Т а б л и ц а 3.2. Выигрыши первого агента в примере 1

j	1	2	3	4	5	6	7
$2f_1(BR_1({}_jx_2^e), {}_jx_2^e)$	$\varepsilon + \delta$	$\varepsilon + \delta$	$\varepsilon + 2\delta$	$\varepsilon + 2\delta$	$\varepsilon + 3\delta$	$\varepsilon + 3\delta$	$\varepsilon + 4\delta$
${}_jx_2^e$	$\varepsilon + \delta$	$\varepsilon + \delta$	$\varepsilon + 2\delta$	$\varepsilon + 2\delta$	$\varepsilon + 3\delta$	$\varepsilon + 3\delta$	$\varepsilon + 4\delta$

Таким образом, рациональным в рассматриваемой модели можно считать использование агентом стратегии (3.15) или (3.16).

¹¹ Другими словами, исходная игра может быть заменена на игру, в которой агенты выбирают ранги своей рефлексии. Для новой игры могут быть также построены рефлексивные аналоги и т.д. до бесконечности (см. примеры: «Пенальти» – во введении, «Игра в прятки» и «Снос на мизере» – в разделе 2.2). Одним из возможных способов борьбы с подобной «бесконечностью» является использование гарантированного результата по рангу рефлексии оппонента. Другим возможным способом, эффективным для конечных игр, является определение максимального целесообразного ранга рефлексии агентов – см. раздел 2.2.

Первый ранг рефлексии. Предположим теперь, что агент обладает определенной информацией о состоянии природы, которую считает истинной, и больше ему ничего достоверно не известно. В рамках существующей неопределенности в силу принципа детерминизма у агента, осуществляющего стратегическую рефлексию, имеются две альтернативы – либо предположить, что его оппонент не обладает никакой информацией, либо считать, что последний обладает той же информацией, что и он сам.¹² Если агент не вводит никаких предположений об информированности и принципах поведения оппонента, то он вынужден применять принцип максимального гарантированного результата (МГР) – никакой дополнительной (по сравнению с рассмотренной выше моделью нулевого ранга рефлексии) информации об оппоненте у агента не добавилось¹³ – то есть рассчитывать на наихудший для него выбор второго агента из множества стратегий типа (3.16). Гарантирующей стратегией будет:

$$x_i^z(\theta_i) = \arg \max_{y_i \in A_i} \min_{j=1,2,\dots} f_i(\theta_i, x_i, y_{-i}). \quad (3.17)$$

Отметим, что, находясь в информационной ситуации, соответствующей рассматриваемой модели, вычисляя (3.17), агент рассматривает оппонента как находящегося в информационной ситуации, соответствующей предыдущей модели. Этот общий принцип – обладая некоторой информацией, агент может рассматривать оппонента как имеющего либо тот же, либо на единицу меньший ранг рефлексии – будет использован и в ряде других рефлексивных моделей принятия решений.

Если первый агент считает, что его оппонент обладает той же информацией, что и он сам (аналогично может рассуждать и второй агент – см. предположение Π_1 в [62]), то он вычисляет *субъективное равновесие* (то есть «равновесие Нэша» для соответствующего субъективного описания игры) $E_N(\theta_1) = \{(y_{11}^*(\theta_1), x_{12}^*(\theta_1))\}$ следующего вида:

¹² Данный принцип (и его обобщения) будет широко использоваться ниже при определении конечных информационных структур – действительно, обладая информацией I_i , i -й агент может в случае неопределенности приписывать другим агентам только информированность, согласованную с I_i .

¹³ Конечно, агент может предполагать, что оппонент обладает некоторой информацией, но, так как эта информация не фигурирует в модели, то рассматривать подобные предположения мы не будем.

$$\begin{aligned} \forall x_1 \in X_1 \quad f_1(\theta_1, y_{11}^*(\theta_1), x_{12}^*(\theta_1)) &\geq f_1(\theta_1, x_1, x_{12}^*(\theta_1)), \\ \forall x_2 \in X_2 \quad f_2(\theta_1, y_{11}^*(\theta_1), x_{12}^*(\theta_1)) &\geq f_1(\theta_1, y_{11}^*(\theta_1), x_2). \end{aligned} \quad (3.18)$$

Содержательно, приведенные системы неравенств отражают вычисление первым агентом «своего» равновесия Нэша и выбор соответствующей координаты этого равновесия. В общем случае агент и его оппонент вычисляют разные равновесия – совпадение возможно, если информированность такова, что $x_{ij}^*(\theta_i) = x_{jj}^*(\theta_j)$, $i, j = 1, 2$.

Таким образом, рациональным в модели первого ранга рефлексии можно считать выбор агентом либо рефлексивной гарантирующей стратегии (3.17), либо субъективного равновесия (3.18).

Субъективное равновесие (3.18), определяемое первым агентом, может быть условно изображено в виде графа с двумя вершинами x_1 и x_{12} , соответствующими первому агенту и его представлением о втором агенте¹⁴ (см. рис. 3.1). Входящие стрелки

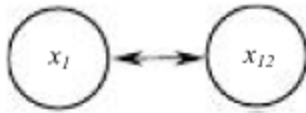


Рис. 3.1. Субъективное равновесие в модели первого ранга стратегической рефлексии

при этом отражают ту информацию, которую использует каждый из агентов об оппоненте.

Второй ранг рефлексии. В модели второго ранга рефлексии i -й агент обладает информацией о представлениях θ_{ij} оппонента о состоянии природы и о собственных представлениях θ_{ii} о состоянии природы (будем считать, что $\theta_i = \theta_{ii}$ – см. аксиому автоинформированности ниже).

Агент может рассчитывать, что его оппонент выберет гарантирующую (в рамках знания θ_{ij}) стратегию. Тогда наилучшим ответом будет

$${}_2x_i^e = \arg \max_{y_i \in A_i} f_i(\theta_i, x_i, y_{-i}^e(\theta_{ij})), \quad (3.19)$$

где $x_{-i}^e(\theta_{i,-i})$ определяется (3.17).

Помимо гарантирующей стратегии (3.19), первый агент может вычислить *субъективное равновесие*

$$E_N(\theta_1, \theta_{12}) = \{(x_{11}^*(\theta_1, \theta_{12}), x_{12}^*(\theta_1, \theta_{12}))\}$$

¹⁴ Подобные агенты, существующие в представлениях других агентов, называются фантомными агентами.

следующего вида:

$$\begin{aligned} \forall x_1 \in X_1 \quad & f_1(\theta_1, x_{11}^*(\theta_1, \theta_{12}), x_{12}^*(\theta_1, \theta_{12})) \geq f_1(\theta_1, x_1, x_{12}^*(\theta_1, \theta_{12})), \\ \forall x_2 \in X_2 \quad & f_2(\theta_{12}, y_{121}^*(\theta_1, \theta_{12}), x_{12}^*(\theta_1, \theta_{12})) \geq f_2(\theta_{12}, y_{121}^*(\theta_1, \theta_{12}), x_2), \\ \forall x_1 \in X_1 \quad & f_1(\theta_{12}, y_{121}^*(\theta_1, \theta_{12}), x_{12}^*(\theta_1, \theta_{12})) \geq f_2(\theta_{12}, x_1, x_{12}^*(\theta_1, \theta_{12})). \end{aligned} \quad (3.20)$$

Как и в предыдущей модели, в общем случае первый агент и его оппонент вычисляют разные равновесия.

Таким образом, рациональным в модели второго ранга рефлексии можно считать выбор агентом либо рефлексивной гарантирующей стратегии (3.19), либо субъективного равновесия (3.20).

Отметим, что первые две системы неравенств в (3.20) отражают равновесие Нэша с точки зрения первого агента, а вторая и третья система неравенств – равновесие Нэша, которое должен определить второй агент с точки зрения первого агента – см. граф на рис. 3.2, на котором пунктиром обведена «модель» второго агента. Проведенный анализ простейших моделей стратегической рефлексии первых нескольких рангов свидетельствует, что в случае нескольких агентов и недостаточной их информированности можно рассматривать процессы принятия ими решений независи-

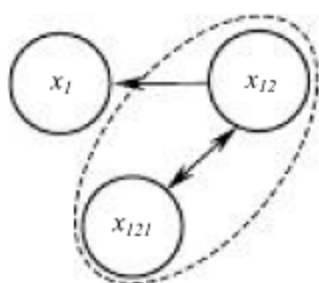


Рис. 3.2. Субъективное равновесие в модели RDM_2

симо – каждый из них моделирует поведение своих оппонентов, то есть стремится построить собственную замкнутую модель игры (см. обсуждение различий субъективного и объективного описания игры в [18]). В случае общего знания субъективные модели совпадают.

Выше мы рассмотрели рефлексии нулевого, первого и второго рангов. Нарращивание рангов рефлексии можно по аналогии производить и дальше. Существенными во всех моделях являются предположения агента о том, какой ранг рефлексии имеет его оппонент, то есть, фактически, ранг рефлексии агента определяется тем, какой ранг рефлексии он приписывает оппоненту.

Никаких разумных рекомендаций, ограничивающих рост ранга собственной рефлексии, априори агенту предложить нельзя. С этой точки зрения можно констатировать, что не существует универсальной концепции равновесия для игр со стратегической рефлексией. Единственным выходом является использование в

этом случае либо МГР по рангам рефлексии оппонента, либо субъективного равновесия, в рамках которого каждый агент вводит определенные предположения о ранге рефлексии оппонента и выбирает свое действие, оптимальное в рамках этих предположений. Поэтому сконцентрируем основное внимание на изучении случаев, когда неограниченного роста ранга рефлексии не происходит. Существуют две причины, по которым ранг рефлексии может оказаться конечным. Во-первых, это – нецелесообразность увеличения ранга рефлексии, свыше некоторого, с точки зрения выигрыша агента (когда дальнейшее увеличение ранга рефлексии заведомо не приводит к увеличению выигрыша). Во-вторых, возможности человека по переработке информации ограничены, и бесконечный ранг рефлексии является не более чем математической абстракцией. Поэтому в последующих разделах настоящей главы приводятся модели, учитывающие обе приведенные причины – в разделе 2.2 на примере биматричных игр определяется максимальный целесообразный ранг стратегической рефлексии, а в разделе 2.3 исследуется роль информационных ограничений.

2.2. РЕФЛЕКСИЯ В БИМАТРИЧНЫХ ИГРАХ

Основная идея, развиваемая в настоящем разделе, заключается в том, что в биматричных играх,¹⁵ в которых не существует равновесия Нэша, или в которых при существующем равновесии Нэша агенты выбирают субъективные гарантирующие стратегии (см. предыдущий раздел настоящей работы) выигрыш каждого из агентов зависит как от его ранга рефлексии, так и от ранга рефлексии оппонента. Кроме того, показывается, что неограниченное увеличение ранга стратегической рефлексии не приводит к увеличению выигрыша. Перейдем к формальному описанию.

Рассмотрим биматричную игру,¹⁶ в которой выигрыши первого и второго агентов задаются матрицами $A = ||a_{ij}||$ и $B = ||b_{ij}||$

¹⁵ Напомним, что биматричными называются конечные игры двух лиц.

¹⁶ Так как матричные игры (антагонистические конечные игры двух лиц) являются частным случаем биматричных игр, то все приведенные в настоящем разделе результаты справедливы и для матричных игр.

размерности $n \times m$ соответственно. Обозначим¹⁷ $I = \{1, 2, \dots, n\}$ – множество действий первого агента (выбирающего строку), $J = \{1, 2, \dots, m\}$ – множество действий второго агента (выбирающего столбец).

В рассматриваемой игре гарантирующие стратегии агентов следующие: $i_0 \in \text{Arg max}_{i \in I} \min_{j \in J} a_{ij}$, $j_0 \in \text{Arg max}_{j \in J} \min_{i \in I} b_{ij}$.

Введем следующие предположения. Пусть матрицы выигрышей таковы, что каждое действие каждого агента является наилучшим ответом на некоторое действие оппонента, и пусть, кроме того, наилучший ответ на каждое действие оппонента единственен (если наилучших ответов несколько, то можно ввести правило, доопределяющее выбор агента).¹⁸ Следовательно, при определении наилучших ответов вместо выражений « $i \dots \in \text{Arg max}_{i \in I} \dots$ » и « $j \dots \in \text{Arg max}_{j \in J} \dots$ » можно использовать, соответственно, выражения « $i \dots = \arg \max_{i \in I} \dots$ » и « $j \dots = \arg \max_{j \in J} \dots$ ».

Обозначим $a_0 = \max_{i \in I} \min_{j \in J} a_{ij}$, $b_0 = \max_{j \in J} \min_{i \in I} b_{ij}$ – максимальные гарантированные результаты (МГР) первого и второго агентов соответственно.

Определим рефлексивную биматричную игру MG_{kl} (*matrix game*) как биматричную игру с матрицами A и B , в которой первый и второй агенты имеют ранги рефлексии, равные k и l соответственно, $k, l \in \mathbb{N}$, где \mathbb{N} – множество натуральных чисел.

Поясним, что будет пониматься под *рангом рефлексии* (точнее – под рангом стратегической рефлексии) в биматричных играх. В биматричных (и не только биматричных – см. [13]) играх выбор действий агентами может осуществляться на основании знания рангов рефлексии оппонента. Ранги рефлексии определяются следующим образом. «Агент имеет нулевой ранг рефлексии, если он знает только матрицу платежей. Агент обладает первым ран-

¹⁷ Будем надеяться, что использование одного и того же (исторически сложившегося) обозначения для информационной структуры и множества действий первого агента не приведет к путанице.

¹⁸ Если отказаться от этих предположений, то все полученные в настоящем разделе результаты останутся в силе, так как вводимые предположения позволяют получить для максимального целесообразного ранга стратегической рефлексии оценку сверху.

гом рефлексии, если он считает, что его противники имеют нулевой ранг рефлексии, то есть знают только матрицу платежей. Вообще, агент с k -м рангом рефлексии предполагает, что его противники имеют $k - 1$ -й ранг рефлексии. Он проводит за них необходимые рассуждения по выбору стратегии и выбирает свою стратегию на основе знания матрицы платежей и экстраполяции действий своих противников» [72]. Приведем иллюстративный пример.

Пример 2 (Игра в прятки) [71]. Первый агент прячется в одной из нескольких комнат разной освещенности, а другой агент должен выбрать ту комнату, где будет его искать. Степени освещенности известны обоим агентам.

Стратегии агентов следующие. Ищущий при прочих равных условиях предпочитает искать, где светлее (там проще найти). Прячущемуся понятно, что в более темной комнате шансов найти его меньше, чем в освещенной. Возрастание ранга рефлексии означает, что агенту становится понятно, что это понятно и его противнику, и т.д. Представим ранги рефлексии агентов и соответствующие действия по выбору комнат в виде табл. 3.3.

Т а б л и ц а 3.3. Ранг рефлексии агентов и соответствующие действия по выбору комнат

Ранг рефлексии агента	0	1	2	3	4
Комната, выбираемая прячущимся	Самая темная	Любая, кроме самой светлой	Любая, кроме самой темной	Самая светлая	Самая темная
Комната, выбираемая ищущим	Самая светлая	Самая темная	Любая, кроме самой светлой	Любая, кроме самой темной	Самая светлая

Можно видеть, что после второго ранга рефлексии исчерпывается все множество допустимых действий, а после третьего ранга рефлексии стратегии выбора комнат начинают повторяться. Этот факт являлся иллюстрацией того, что в игре двух лиц увеличение рангов рефлексии выше определенного объективно не даст ничего нового, хотя субъективное нарастание сложности может продолжаться.

Несоответствие рангов рефлексии успешности деятельности состоит в следующем. Пусть прячущийся имеет 0-й ранг (прячется в самой темной комнате). Если при этом ищущий имеет 1-й ранг, то он всегда выигрывает (ищет в самой темной комнате). Но если ищущий имеет 3-й ранг (ищет в любой комнате, кроме самой темной), то он всегда проигрывает прячущемуся с 0-м рангом, поскольку тот, как мы помним, не затрудняясь рассуждениями о том, что думает противник, прячется именно в этой самой темной комнате, куда ищущий, проведя серию рефлексивных рассуждений, никогда не заглянет.

Таким образом, невозможно однозначно утверждать, что более высокий ранг рефлексии лучше более низкого. Предпочтительность того или иного ранга определяется его взаимодействием с рангом рефлексии противника. •

Так как в биматричных играх предполагается, что каждый агент имеет некое убеждение о ранге рефлексии оппонента [71, 72], то это позволяет использовать понятие субъективной гарантирующей стратегии. Определим *субъективные гарантирующие стратегии* в биматричной игре MG_{kl} :

$$i_k = \arg \max_{i \in I} a_{ij_{k-1}}, j_l = \arg \max_{j \in J} b_{i_{l-1}j}, k, l \in \mathbb{N}. \quad (3.21)$$

Таким образом, игра MG_{00} совпадает с исходной игрой, а «равновесием» в игре MG_{kl} является $(a_{i_k j_l}; b_{i_k j_l})$, $k, l \in \mathbb{N}$. Отметим два любопытных факта. Во-первых, выигрыш любого агента в игре MG_{kl} при $k \geq 1, l \geq 1$ может оказаться меньше максимального гарантированного (см. пример «Снос на мизере» ниже). Во-вторых, приписывание каждым агентом оппоненту ранга рефлексии на единицу меньше его собственного противоречиво, так как в игре MG_{kl} при $k \geq 1, l \geq 1$ это означает, что должно одновременно выполняться $l = k - 1$ и $k = l - 1$, что, очевидно, невозможно. Следовательно, равновесие в рефлексивной игре является существенно субъективным, и априори агенты не знают в какую игру они играют (ранги рефлексии обоих агентов не могут быть общим знанием, так как это противоречило бы самому определению ранга рефлексии). Поэтому перспективным направлением будущих исследований представляется изучение информационной рефлексии относительно рангов рефлексии агентов в биматричных играх.

Внутренняя противоречивость стратегической рефлексии в биматричных играх может быть проиллюстрирована следующей схемой – на рис. 3.4а приведено субъективное описание игры MG_{kl} в терминах графа рефлексивной игры с точки зрения первого агента, на рис. 3.4б – субъективное описание той же игры с точки зрения второго агента.

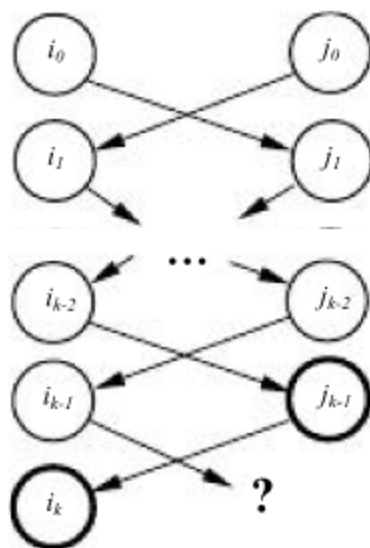


Рис. 3.4а. Субъективное описание игры MG_{kl} с точки зрения первого агента

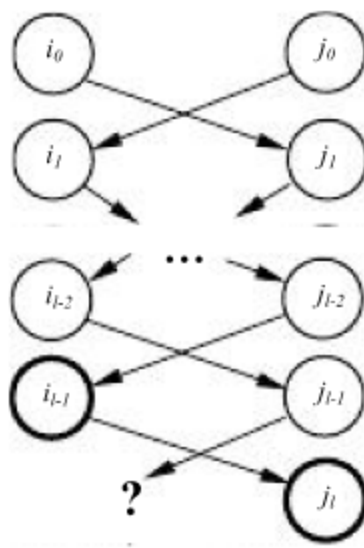


Рис. 3.4б. Субъективное описание игры MG_{kl} с точки зрения второго агента

Несколько забегаая вперед (см. раздел 3.4), отметим, что граф рефлексивной игры обладает тем свойством, что число дуг, входящих в каждую его вершину, должно быть на единицу меньше, чем число агентов (то есть в биматричных играх равняться единице). Субъективные равновесные действия выделены жирным шрифтом и приводят к «равновесию» (i_k, j_l) . Действия i_{k-1} для первого агента и j_{l-1} для второго не используются в соответствующих субъективных описаниях игры (см. знаки вопроса на рис. 3.4), то есть каждое из них оказывается внутренне незамкнутым.

Завершив краткое обсуждение внутренней противоречивости определения ранга стратегической рефлексии в биматричных играх, вернемся к исследованию зависимости субъективного равновесия и выигрышей агентов от рангов их рефлексии.

Обозначим $I_K = \bigcup_{k=0,1,\dots,K} i_k$, $J_L = \bigcup_{l=0,1,\dots,L} j_l$, $K = 0, 1, 2, \dots$,

$L = 0, 1, 2, \dots$. Под I_∞ и J_∞ будем понимать соответствующие объединения по всем рангам рефлексии от нуля до бесконечности.

Если одному агенту (или обоим агентам) неизвестен ранг рефлексии оппонента, то целесообразно рассмотрение игры MG_{∞} , в которой каждый агент вычисляет гарантированный результат по рангу рефлексии оппонента. Введем гарантирующие стратегии, соответствующие полной неопределенности относительно ранга рефлексии оппонента:

$$i_{\infty} = \arg \max_{i \in I} \min_{j \in J_{\infty}} a_{ij}, j_{\infty} = \arg \max_{j \in J} \min_{i \in I_{\infty}} b_{ij}. \quad (3.22)$$

Аналогично можно определить гарантирующие стратегии в рамках информации о том, что ранг рефлексии оппонента не превышает известной величины (то есть первый агент считает, что ранг рефлексии второго не выше L , а второй – что ранг рефлексии первого не выше K):

$$i^L = \arg \max_{i \in I} \min_{l \in J_L} a_{il}, j^K = \arg \max_{j \in J} \min_{k \in I_K} b_{kj}. \quad (3.23)$$

Отметим, что в (3.23), в отличие от (3.21), стратегия каждого из агентов не зависит от его собственного ранга рефлексии, а определяется информацией о ранге рефлексии оппонента.

Выражения (3.21)-(3.23) не исчерпывают всего многообразия возможных ситуаций, так как, например, первый агент может предположить, что второй выберет j_{∞} , и тогда его наилучшим ответом будет $\arg \max_{i \in I} a_{ij_{\infty}}$, и т.д. Кроме того, хотя к увеличению ранга рефлексии способны лишь «сильные» агенты, интуитивно понятно, что при росте этого ранга, то есть при удлинении цепочки рассуждений «я думаю, что он думает, что я думаю...» есть опасность «перемудрить». Сильный агент с высоким рангом рефлексии переоценивает противника, предполагая, что у него ранг рефлексии тоже высокий. Но, если ранг соперника на самом деле низкий, это приводит к проигрышу более слабому противнику [73] – см. примеры «Игра в прятки» и «Снос на мизере». Следовательно, необходимо систематическое исследование соотношения выигрышей агентов в зависимости от типа разыгрываемой игры. Приведем результаты этого исследования.

Существенным для нашего рассмотрения является наличие или отсутствие равновесия Нэша, а также выбор агентами (и использование при построении субъективных равновесий) гарантирующих стратегий или действий, равновесных по Нэшу. Таким образом, возможны следующие четыре ситуации.

Вариант 1 (равновесие Нэша в чистых стратегиях существует, и агенты ориентируются на равновесные по Нэшу действия).

Обозначим $(i^*; j^*)$ – номера равновесных по Нэшу чистых стратегий. Тогда, если по аналогии с (3.21) считать, что в рефлексивной игре каждый агент выбирает свой наилучший ответ на выбор оппонентом соответствующей компоненты равновесия, то получим, что

$$i_k = \arg \max_{i \in I} a_{ij^*}, j_l = \arg \max_{j \in J} b_{i^*j}, k, l \in \aleph. \quad (3.24)$$

Из (3.24) в силу определения равновесия Нэша следует, что $i_k = i^*, j_l = j^*, k, l \in \aleph$, то есть в рамках варианта 1 стратегическая рефлексия бессмысленна¹⁹ (за исключением, быть может, случая, когда наилучшие ответы определяются таким образом, что агенты выбирают компоненты различных равновесий Нэша в случае, когда последних несколько).

Вариант 2 (равновесие Нэша в чистых стратегиях существует, но агенты выбирают гарантирующие стратегии (3.21)).

Если гарантирующие стратегии образуют равновесие Нэша (как это имеет место в антагонистических играх с седловой точкой), то попадаем в условия варианта 1. Следовательно, стратегическая рефлексия имеет смысл, только если в рамках варианта 2 равновесие Нэша не совпадает с равновесием в гарантирующих стратегиях (i_0, j_0) .

Вариант 3 (равновесия Нэша в чистых стратегиях не существует, и агенты ориентируются на равновесные по Нэшу смешанные стратегии²⁰).

Если агенты при определении своих наилучших ответов по аналогии с (3.24) рассчитывают на то, что оппонент выберет равновесные по Нэшу смешанные стратегии, то легко показать, что максимум ожидаемого выигрыша каждого агента будет достигаться при выборе им также соответствующей равновесной по Нэшу смешанной стратегии. Следовательно, в рамках варианта 3 любое равновесие совпадает с равновесием Нэша в смешанных

¹⁹ Под бессмысленностью стратегической рефлексии в биматричных играх будем понимать случай, когда равновесие в рефлексивной игре с любой комбинацией ненулевых рангов рефлексии агентов совпадает с равновесием в исходной игре.

²⁰ Напомним, что в биматричных играх равновесие Нэша в смешанных стратегиях всегда существует.

стратегиях, то есть стратегическая рефлексия в этом случае бессмысленна.

Вариант 4 (равновесия Нэша в чистых стратегиях не существует, и агенты ориентируются на гарантирующие стратегии (3.21)). В этом варианте анализ рефлексии, очевидно, имеет смысл.

Таким образом, рассмотрев все четыре возможных варианта поведения агентов, получаем, что обоснована справедливость следующего утверждения.

Утверждение 1. Стратегическая рефлексия в биматричных играх имеет смысл, если агенты используют субъективные гарантирующие стратегии (3.21), которые не являются равновесными по Нэшу.

Обозначим

$$K_{min} = \min \{K \in \mathcal{N} \mid I_K = I_\infty\}, \quad (3.25)$$

$$L_{min} = \min \{L \in \mathcal{N} \mid J_L = J_\infty\}. \quad (3.26)$$

Содержательно, K_{min} и L_{min} – минимальные ранги рефлексии первого и второго агентов, при которых их множества субъективных равновесных действий совпадают с максимально возможными в рассматриваемой игре множествами субъективных гарантирующих стратегий.

В силу определения $\forall K, L \in \mathcal{N} \quad I_K \subseteq I_{K+1}, J_L \subseteq J_{L+1}$. Значит $\forall K \geq K_{min} \quad I_K = I_\infty, \forall L \geq L_{min} \quad J_L = J_\infty$.

Если ранг рефлексии первого и второго агентов не превышает K и L соответственно, то множества субъективных гарантирующих стратегий первого и второго агентов с точки зрения оппонента равны I_{L-1} и J_{K-1} соответственно. Значит, увеличение рангов рефлексии может приводить к расширению множества субъективных гарантирующих стратегий, если

$$L - 1 < K_{min}, \quad (3.27)$$

$$K - 1 < L_{min}. \quad (3.28)$$

Отметим, что с рассматриваемой точки зрения *максимальный целесообразный ранг рефлексии*²¹ первого агента зависит от свойств субъективных гарантирующих стратегий второго агента (см. (3.28)), и наоборот.

²¹ Под максимальным целесообразным рангом рефлексии агента будем понимать такое его значение, что увеличение ранга рефлексии выше данного не приводит к появлению новых субъективных (с точки зрения данного агента) равновесий.

С другой стороны, агенту не имеет смысла увеличивать ранг своей рефлексии, если он уже «исчерпал» собственное множество возможных субъективных равновесных действий. С этой точки зрения увеличение рангов рефлексии может приводить к расширению множества субъективных гарантирующих стратегий, если

$$K < K_{min}, \quad (3.29)$$

$$L < L_{min}. \quad (3.30)$$

Объединяя (3.28) и (3.29), а также (3.27) и (3.30), получаем, что первому агенту не имеет смысла увеличивать свой ранг рефлексии выше

$$K_{max} = \min \{K_{min}, L_{min} + 1\}, \quad (3.31)$$

а второму агенту не имеет смысла увеличивать свой ранг рефлексии выше

$$L_{max} = \min \{L_{min}, K_{min} + 1\}. \quad (3.32)$$

Обозначим

$$R_{max} = \max \{K_{max}, L_{max}\}. \quad (3.33)$$

Таким образом, доказана справедливость следующего утверждения.

Утверждение 2. Использование агентами в биматричной игре рангов стратегической рефлексии выше, чем (3.31) и (3.32), не имеет смысла.²²

Это утверждение дает возможность в каждом конкретном случае (для конкретной разыгрываемой игры) каждому агенту (и исследователю операций) вычислить максимальные целесообразные ранги стратегической рефлексии обоих агентов.

Так как величины (3.31)-(3.33) зависят от игры (матриц выигрышей), то получим оценки зависимости этих величин от размерности матриц выигрышей (очевидно, что $|I_\infty| \leq |I| = n$, $|J_\infty| \leq |J| = m$, а для игр размерности два справедлива более точная оценка – см. утверждение 3). Для этого введем в рассмотрение граф наилучших ответов.

Графом наилучших ответов $G = (V, E)$ назовем конечный двудольный ориентированный граф, в котором множество вершин $V = I \cup J$, а дуги проведены от каждой вершины (соответствующей действию одного из агентов) к наилучшему на нее ответу оппонента. Опишем свойства введенного графа:

²² То есть для любого ранга рефлексии, превышающего указанные оценки, найдется ранг рефлексии, удовлетворяющий указанным оценкам и приводящий к тому же субъективному равновесию.

1. Из каждой вершины множества I выходит дуга в вершину множества J (у второго агента есть наилучший ответ на любое действие первого агента), из каждой вершины множества J выходит дуга в вершину множества I (у первого агента есть наилучший ответ на любое действие второго агента).

2. В каждую вершину множества V входит ровно одна дуга (так как каждое действие каждого агента является наилучшим ответом на какое-либо действие оппонента).

3. Если любой путь дважды прошел через одну и ту же вершину, то по определению наилучших ответов его часть является контуром, и в дальнейшем новых вершин в этом пути не появится.

4. Максимальное число попарно различных действий первого агента, содержащихся в пути, начинающемся в вершине i_0 , равно $\min(n; m + 1)$.

5. Максимальное число попарно различных действий второго агента, содержащихся в пути, начинающемся в вершине i_0 , равно $\min(n; m)$.

6. Максимальное число попарно различных действий первого агента, содержащихся в пути, начинающемся в вершине j_0 , равно $\min(n; m)$.

7. Максимальное число попарно различных действий второго агента, содержащихся в пути, начинающемся в вершине j_0 , равно $\min(n + 1; m)$.

Выявленные свойства графа наилучших ответов позволяют получить оценки сверху целесообразных рангов стратегической рефлексии в биматричных играх.

Утверждение 3. В биматричных играх 2×2 , в которых не существует равновесия Нэша, $I_\infty = I$, $J_\infty = J$.

Доказательство. Рассмотрим произвольную биматричную игру 2×2 , в которой не существует равновесия Нэша. Пусть $X_1 = \{x_1, x_2\}$, $X_2 = \{y_1, y_2\}$. Вычислим гарантирующие стратегии i_0 и j_0 . Положим для определенности $x_1 = i_0$, $y_1 = j_0$.

Возможны два взаимоисключающих варианта: $j_1 = y_1$ и $j_1 = y_2$.

Если $j_1 = y_1$, то $i_1 = i_2 = x_2$ (иначе (x_1, y_1) – равновесие Нэша). Тогда $j_2 = j_3 = y_2$ (иначе (x_2, y_1) – равновесие Нэша). Следовательно, $i_3 = i_4 = x_1$ (иначе (x_2, y_2) – равновесие Нэша). То есть в первом случае $I_\infty = I$, $J_\infty = J$.

Если $j_1 = y_2$, то $i_2 = x_2$ (иначе (x_1, y_2) – равновесие Нэша). Тогда $j_3 = y_1$ (иначе (x_2, y_2) – равновесие Нэша). Следовательно, $i_4 = x_1$ (иначе (x_2, y_1) – равновесие Нэша). То есть во втором случае также $I_\infty = I, J_\infty = J$. •

Качественно, утверждение 3 означает, что в биматричной игре 2×2 , в которой не существует равновесия Нэша, любой исход может быть реализован как субъективное равновесие.

Перспективным направлением исследований можно считать анализ субъективных равновесий в базовых *ординарных играх двух лиц* 2×2 (напомним, что существуют 78 структурно различных ординарных игр, то есть игр, в которых оба агента, каждый из которых имеет два допустимых действия, может строго упорядочить собственные выигрыши от лучшего к худшему [101, 136]).

Утверждение 3 наводит на мысль, что, быть может, во всех биматричных играх, в которых не существует равновесия Нэша, выполнено $I_\infty = I, J_\infty = J$. Контрпримером служит приведенный на рис. 3.5 граф наилучших ответов в игре 4×4 , в котором вершины i_0 и j_0 затенены.

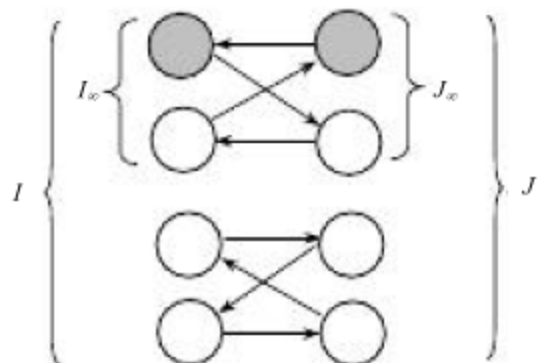


Рис.3.5. Пример графа наилучших ответов в биматричной игре 4×4 , в которой $I_\infty \subset I, J_\infty \subset J$

Имея грубые оценки сверху ($|I_\infty| \leq n, |J_\infty| \leq m$) «размеров» множеств I_∞ и J_∞ , исследуем, как быстро (при каких минимальных рангах стратегической рефлексии) эти множества «покрываются» соответствующими субъективными равновесиями.

Третье свойство графа наилучших ответов означает, что в биматричной игре целесообразное увеличение ранга стратегической рефлексии, начиная со второго шага, обязательно изменяет множество стратегий, которые должны быть субъективными гарантирующими при рангах рефлексии меньших или равных данному. Так как в биматричных играх множества допустимых действий конечны, то конечны множества I_∞ и J_∞ , следовательно, в си-

лу свойств 4-7 графа наилучших ответов конечны и величины L_{min} и K_{min} , то есть в биматричных играх неограниченное увеличение ранга рефлексии заведомо нецелесообразно. Опять же в силу конечности допустимых множеств, величины (3.31) и (3.32), определяющие максимальные целесообразные ранги рефлексии, могут быть легко рассчитаны для любой конкретной биматричной игры. Но свойства графа наилучших ответов позволяют получить конкретные оценки сверху максимальных целесообразных рангов рефлексии.

В биматричной игре $n \times m$ гарантированные оценки²³ величин (3.31)-(3.33), очевидно, будут зависеть от размерности матриц выигрышей, то есть $K_{min} = K_{min}(n)$, $L_{min} = L_{min}(m)$. Следовательно,

$$K_{max}(n, m) = \min \{K_{min}(n), L_{min}(m) + 1\}, \quad (3.34)$$

$$L_{max}(n, m) = \min \{L_{min}(m), K_{min}(n) + 1\}. \quad (3.35)$$

Выражение (3.33) примет при этом вид:

$$R_{max}(n, m) = \max \{K_{max}(n, m), L_{max}(n, m)\}. \quad (3.36)$$

Из свойств 4-7 графа наилучших ответов и выражений (3.34)-(3.36) следует справедливость следующего утверждения.

Утверждение 4. В биматричных играх $n \times m$ максимальные целесообразные ранги стратегической рефлексии первого и второго агентов удовлетворяют следующим неравенствам

$$K_{max}(n, m) \leq \min \{n, m + 1\}, \quad (3.37)$$

$$L_{max}(n, m) \leq \min \{m, n + 1\}, \quad (3.38)$$

$$R_{max}(n, m) \leq \max \{\min \{n, m + 1\}, \min \{m, n + 1\}\}. \quad (3.39)$$

Следствие 1. В биматричной игре $n \times n$, $n \geq 2$, максимальный целесообразный ранг стратегической рефлексии любого агента²⁴

$$R_{max}(n, n) \leq n.$$

Для случая двух допустимых действий (в силу его распространенности в прикладных моделях) сформулируем отдельное следствие.

Следствие 2. В биматричной игре 2×2 максимальный целесообразный ранг рефлексии не превосходит двух.

²³ Под гарантированной оценкой будем понимать оценку сверху, то есть максимально возможную для данного класса игр соответствующую величину.

²⁴ Очевидно, что в игре, в которой один из агентов имеет единственное допустимое действие, рефлексия бессмысленна.

Еще раз отметим, что оценки (3.37)-(3.39) являются оценками сверху – существование нескольких наилучших ответов на одно и то же действие, наличие в исходной игре равновесия Нэша или доминируемых стратегий может привести только к тому, что максимальный целесообразный ранг рефлексии уменьшится. Рекламную версию утверждения 4 можно сформулировать следующим образом: в биматричной игре максимальный целесообразный ранг стратегической рефлексии превышает минимальное число допустимых стратегий агентов не более чем на единицу.

Приведем примеры, иллюстрирующие полученные теоретические результаты анализа стратегической рефлексии в биматричных играх (см. также пример 2 выше).

Пример 3 (Дилемма заключенного) [132]. Рассмотрим хрестоматийную биматричную игру (*“Prisoners’ Dilemma”*): у каждого из двух заключенных-сообщников есть два действия: «Н» – «не сознаваться в совершении преступления» и «С» – «сознаться в совершении преступления». Если сознаются оба агента, то они получают наказание – их выигрыш есть вектор (1; 1). Если первый сознается, а второй нет, то первый выходит на свободу, а второй получает значительное наказание – вектор выигрышей (исход) – (6; 0). Симметричным образом обстоит дело, если сознается второй агент и не сознается первый. И, наконец, если не сознаются оба, то оба получают небольшое наказание, каждый получая выигрыш равный 5, то есть меньший, чем если бы он вышел на свободу. Матрица выигрышей приведена на рис. 3.6 (отметим, что действие «С» у обоих агентов доминирует действие «Н»).

Действия	Н	С
Н	(5; 5)	(0; 6)
С	(6; 0)	(1; 1)

Рис. 3.6. Матрица выигрышей в игре «Дилемма заключенного»

Единственным равновесием Нэша в рассматриваемой игре является («С»; «С»), которое состоит из гарантирующих стратегий агентов и дает им соответственно выигрыши $a_0 = 1$ и $b_0 = 1$. Следовательно, $i_0 = i_1 = i_2 = \dots i_\infty = \text{«С»}$, $j_0 = j_1 = j_2 = \dots j_\infty = \text{«С»}$, и рассмотрение рефлексии в данной игре бессмысленно (по крайней мере, ни одно из определений (3.21)-(3.23) не дает «нового» равновесия, то есть отличного от равновесия Нэша, в том числе, не позволяет обосновать устойчивости Парето-эффективного ис-

хода («Н»; «Н»), что является одной из тестовых проблем теории игр). •

Пример 4 (Семейный спор) [132]. Рассмотрим вторую хрестоматийную биматричную игру (“*Battle of Sexes*”), которую разыгрывают муж и жена. Муж предпочитает пойти на футбол («Ф»), а жена – в театр («Т»), но каждый из них предпочитает провести время с партнером, нежели в одиночестве. Матрица выигрышей приведена на рис. 3.7.

Действия	Ф	Т
Ф	(3; 1)	(0; 0)
Т	(0; 0)	(1; 3)

Рис. 3.7. Матрица выигрышей в игре «Семейный спор»

В рассматриваемой игре существуют два равновесия Нэша в чистых стратегиях – («Ф»; «Ф») и («Т»; «Т»). С точки зрения рефлексии каждому агенту выгодно повторять выбор оппонента, однако, так как выбор любого допустимого действия является гарантирующей стратегией, выделить определенный исход в соответствующей рефлексивной игре не представляется возможным.

Помимо двух равновесий Нэша в чистых стратегиях, в данной игре существует одно равновесие Нэша в смешанных стратегиях. Пусть $p \in [0; 1]$ – вероятность выбора мужем похода на футбол, $q \in [0; 1]$ – вероятность выбора женой похода в театр. Тогда равновесием будет $p = q = 3/4$, то есть равновесие в смешанных стратегиях имеет вид: $(3/4, 1/4)$ и $(1/4, 3/4)$, обеспечивая агентам ожидаемые выигрыши $(3/4; 3/4)$.

Если муж считает, что ему известна смешанная стратегия жены, то он может выбирать $p_1 = \arg \max_{p \in [0;1]} [3p/4 + 3(1-p)/4]$.

Видно, что ожидаемый выигрыш мужа не зависит от его смешанной стратегии и равен $3/4$. Аналогичный вывод можно сделать и для стратегии q_1 жены, а также для всех других рефлексивных смешанных стратегий обоих агентов. Другими словами, любым рефлексивным равновесием в смешанных стратегиях будет равновесие Нэша в смешанных стратегиях, следовательно, в этом случае рассмотрение рефлексии бессмысленно. •

Пример 5 (Снос на мизере). Данный пример является частным случаем примера «Игра в прятки» и заключается в следующем. Пусть во время партии в преферанс один из партнеров играет ми-

зер. Будем считать его агентом номер один. Всех остальных участвующих в игре будем считать агентом номер два.

Предположим, что у первого агента есть два действия: «С» – стандартный снос, и «Н» – нестандартный снос. У его оппонента (второго агента, ловящего мизер) тоже есть два действия: «С» – ловить стандартный снос и «Н» – ловить нестандартный снос. Если первый агент делает стандартный снос, а второй ловит нестандартный, то выигрывает первый агент – вектор выигрышей имеет вид (5; 0). Выигрыши (5; 1) получаются в ситуации, когда первый агент делает нестандартный снос, а второй ловит стандартный (стандартный снос ловить проще, чем нестандартный). Будем считать, что нестандартный снос поймать сложнее, чем стандартный, поэтому ситуациям («С»; «С») и («Н»; «Н») соответствуют выигрыши (2, 3) и (3, 2). Таким образом, матрица выигрышей имеет вид, приведенный на рис. 3.8.

Действия	Н	С
Н	(3; 2)	(5; 1)
С	(5; 0)	(2; 3)

Рис. 3.8. Матрица выигрышей в игре «Снос на мизере»

В рассматриваемом примере равновесия Нэша в чистых стратегиях не существует, а гарантирующие стратегии следующие: $i_0 = \text{«Н»}$, $j_0 = \text{«С»}$. В соответствии с выражением (3.21) получаем:

$$\begin{aligned}
 i_1 &= \text{«Н»}, j_1 = \text{«Н»}, \\
 i_2 &= \text{«С»}, j_2 = \text{«Н»}, \\
 i_3 &= \text{«С»}, j_3 = \text{«С»}, \\
 i_4 &= \text{«Н»}, j_4 = \text{«Н»}, \\
 &\dots
 \end{aligned}$$

Видно, что четвертый уровень одинаковых рангов рефлексии повторяет первый, и дальше субъективные гарантирующие стратегии будут периодически повторяться. Кроме того, $I_K = I$ при $K = 2$, а $J_L = J$ при $L = 1$, то есть первые два ранга рефлексии исчерпывают множества допустимых действий агентов, а первые три ранга исчерпывают все комбинации чистых стратегий. То есть $I_\infty = I$, $J_\infty = J$ и $i_\infty = i_0$, $j_\infty = j_0$. Первому агенту выгодны следующие игры (то есть следующие комбинации рангов рефлексии): MG_{00} , MG_{03} , MG_{10} , MG_{13} , MG_{21} , MG_{22} , MG_{32} . При этом он в пяти случаях из семи имеет ранг рефлексии, не меньший, чем у оппонента. Второму агенту выгодны следующие игры: MG_{01} ,

$MG_{02}, MG_{11}, MG_{12}, MG_{23}, MG_{33}$. При этом он во всех шести случаях имеет ранг рефлексии, не меньший, чем у оппонента.

Как отмечалось выше, выигрыш агента может оказаться меньше его МГР. Так, МГР первого агента в рассматриваемой игре равен трем, второго – единице. В играх MG_{20}, MG_{23} и MG_{33} первый агент получает выигрыш, равный двум, что строго меньше его МГР $a_0 = 3$. В играх MG_{22}, MG_{31} и MG_{32} , второй агент получает нулевой выигрыш, что строго меньше его МГР $b_0 = 1$.

Вычислим для рассматриваемой игры равновесие в смешанных стратегиях. Обозначая p – вероятность нестандартного сноса первым агентом, q – вероятность ловли нестандартного сноса вторым агентом, получаем: $p = 3/4$, $q = 3/5$. То есть равновесие в смешанных стратегиях имеет вид: $(3/4, 1/4)$ и $(3/5, 2/5)$, что обеспечивает агентам ожидаемые выигрыши $(19/5; 3/2)$. Если первый агент считает, что ему известна смешанная стратегия второго, то он может выбирать $p_1 = \arg \max_{p \in [0;1]} [p(9/5 + 2) + (1 - p)(3 + 4/5)]$.

Видно, что ожидаемый выигрыш первого агента не зависит от его смешанной стратегии и равен $19/5$. Аналогичный вывод можно сделать и для стратегии q_1 второго агента, а также для всех других рефлексивных смешанных стратегий обоих агентов. Другими словами, любым рефлексивным равновесием в смешанных стратегиях будет равновесие Нэша в смешанных стратегиях, следовательно, в этом случае рассмотрение рефлексии бессмысленно. •

В заключение настоящего раздела еще раз напомним, что в реальных играх двух лиц (в том числе – описываемых биматричными играми) тип разыгрываемой игры (ранги рефлексии обоих оппонентов k и l) неизвестен достоверно ни одному из агентов. Поэтому процесс принятия ими решений стоит рассматривать скорее не как игру, а как рефлексивное принятие решений, которое состоит из двух этапов – принятие предположения о значении ранга рефлексии оппонента и выбор соответствующего этому рангу собственного наилучшего ответа. С этой точки зрения полученные в настоящем разделе результаты связывают мощности множеств стратегий агентов с максимальными рангами рефлексии, которые имеет смысл рассматривать.

2.3. ОГРАНИЧЕННОСТЬ РАНГА РЕФЛЕКСИИ

На всем протяжении настоящей работы исследуется нормативный аспект рефлексивного взаимодействия²⁵ – каким должен быть ранг рефлексии агента (максимальный целесообразный ранг его рефлексии) для того, чтобы его выигрыш в рефлексивной игре был максимален. Другими словами, максимальным целесообразным является такое значение ранга рефлексии, превышение которого не увеличивает выигрыш, и целью исследования является получение соответствующих ограничений исходя только из теоретико-игровой модели.

Во многих случаях оказывается, что с точки зрения нормативной модели принятия решений агенту следует неограниченно увеличивать ранг стратегической рефлексии. С другой стороны, понятно, что существуют *информационные ограничения*, то есть возможности любого реального агента по переработке информации ограничены, поэтому бесконечная рефлексия является не чем иным, как математической абстракцией. Поэтому в настоящем разделе на качественном уровне (все приводимые утверждения являются нестрогими, так как лежащие в основе их вывода «аксиомы» являются предположениями, обоснованность которых может показаться спорной) рассматривается взаимосвязь между информационными ограничениями и рангом рефлексии. В качестве информационного ограничения возьмем общепринятое в психологии *число Миллера* – 7 ± 2 [3, 129], отражающее максимальное число объектов (признаков, альтернатив и т.д.), которыми человек может одновременно оперировать.

Как отмечалось в предыдущем разделе, процесс принятия решений рефлексорирующими агентами стоит рассматривать, скорее, не как игру, а как рефлексивное принятие решений, которое состоит из двух этапов – принятия предположений о возможных значениях ранга рефлексии оппонента и выбора соответствующих наилучших ответов. Рассмотрим процесс принятия решений i -м агентом, точнее – элементарный акт анализа им игровой ситуации. Он может рассуждать следующим образом. «Предположим, что я намереваюсь выбрать действие $x_i \in X_i$, а оппонент (под

²⁵ Частные модели, рассматриваемые в рамках дескриптивного аспекта, приведены в четвертой главе настоящей работы.

оппонентом будем понимать множество всех агентов,²⁶ кроме i -го) – действие $x_{-i} \in X_{-i}$ (нулевой ранг рефлексии). Тогда, если этот факт отражен оппонентом (первый ранг рефлексии), то он может выбрать $BR_{-i}(x_i)$, а я – $BR_i(x_{-i})$. Если и этот факт отражен оппонентом (второй ранг рефлексии), то появляются возможности выбора соответственно $BR_{-i}(BR_i(x_{-i}))$ и $BR_i(BR_{-i}(x_i))$ ». Данная цепочка построения графа наилучших ответов может продолжаться и далее (до тех пор, пока не исчерпается все множество допустимых действий – см. разделы 2.2 и 3.6, или пока в цепочке не перестанут появляться новые действия – см. раздел 2.2), если не учитывать информационных ограничений. Если w – ранг рефлексии, то число действий (число реальных и фантомных агентов), которые необходимо принимать во внимание агенту (при произвольных $x_i \in X_i$ и $x_{-i} \in X_{-i}$), равно $2(w+1)$, а число связей между ними – $(w+1)!$ (при этом предполагается, что агент считает оппонента примерно таким же рациональным, каким и себя).

Если учесть информационные ограничения, то получим, что, должно выполняться либо $2(w+1) \leq 7 \pm 2$, либо $(w+1)! \leq 7 \pm 2$. Решение первого неравенства в целых положительных числах дает $w \in \{0; 1; 2; 3\}$, второго – $w \in \{0; 1; 2\}$. При числе Миллера равном 7 получаем, что максимальный (в силу информационных ограничений) ранг стратегической рефлексии равен двум.

Альтернативным объяснением конечности информационной структуры (и, следовательно, ранга стратегической рефлексии) является ограниченность количества информации, содержащейся в любом сообщении конечной длины. Действительно, иерархия представлений – информационная структура – формируется в результате получения агентами некоторой информации. Если эта информация ограничена, то информационная структура не может быть бесконечной. Установление соответствия между получаемой агентами информацией и формирующейся при этом инфор-

²⁶ В настоящем разделе предполагается, что в многоэлементной системе каждый агент рассматривает всех оппонентов в качестве одного агента. Если отказаться от этого предположения и считать, что каждый агент анализирует возможное поведение каждого из своих оппонентов, то оценки максимального ранга стратегической рефлексии лишь уменьшатся (ему придется рассматривать n реальных агентов и $n!$ связей между ними, что превышает число Миллера уже в системе с четырьмя агентами и на рефлексии «не остается места»).

мационной структурой является перспективной задачей будущих исследований.

ГЛАВА 3. ИНФОРМАЦИОННАЯ РЕФЛЕКСИЯ

Целью данной главы является определение информационного равновесия и исследование его свойств. Для этого сначала описывается информационная рефлексия в играх двух лиц (раздел 3.1), затем (в разделе 3.2) приводится общая модель – описывается структура информированности, на основании которой принимаются решения участниками рефлексивной игры; определяется понятие сложности структуры информированности. В разделе 3.3 в качестве концепции решения рефлексивной игры вводится понятие информационного равновесия, в разделе 3.4 описывается граф рефлексивной игры, с помощью которого исследуются свойства информационного равновесия. В разделе 3.5 определяются регулярные структуры информированности и приводятся достаточные условия существования информационного равновесия. Раздел 3.6 посвящен исследованию влияния рангов рефлексии на выигрыши агентов, а также изучению зависимости между структурой информированности и информационным равновесием. Заключительный раздел третьей главы (раздел 3.7) содержит постановку и исследование задач рефлексивного управления.

3.1. ИНФОРМАЦИОННАЯ РЕФЛЕКСИЯ В ИГРАХ ДВУХ ЛИЦ

Как отмечалось выше, предположение о том, что значение состояния природы – общее знание, является «предельным», то есть требующим от агентов бесконечной рефлексии, и ему в соответствие может быть поставлено классическое равновесие Нэша. Однако информированность агентов может быть другой, поэтому рассмотрим возможные случаи.

Примем следующие обозначения (см. также [62]): θ_i – информация (представления) i -го агента о состоянии природы, θ_{ij} – информация i -го агента об информации j -го агента о состоянии природы, $i \neq j$, θ_{iji} – информация i -го агента об информации j -го аген-

та об информации i -го агента о состоянии природы²⁷, и т.д., $i, j = 1, 2$. Будем считать, что при принятии решений каждый агент считает истинной «свою» информацию о состоянии природы²⁸ (см. принцип доверия в [62]).

Таким образом, информированностью i -го агента будем называть $I_i = (\theta_i, \theta_{ij}, \theta_{ijk}, \dots)$, то есть всю имеющуюся на момент принятия им решений информацию (иерархию его представлений, в которой уровни определяются длиной последовательности индексов в записи компонентов информированности). Совокупность I_1 и I_2 назовем информационной структурой рефлексивной игры двух агентов (модель информационной структуры рефлексивной игры произвольного конечного числа агентов приведена в следующем разделе). *Длина максимальной последовательности индексов* характеризует (на единицу превышает) ранг рефлексии агента.

В терминах *рефлексивных многочленов* В.А. Лефевра [43] единичной длине последовательности индексов соответствует ситуация, в которой i -й агент, во-первых, «видит» только плацдарм T , в роли которого в рассматриваемой системе выступает множество возможных значений состояния природы. Во-вторых, у агента имеется информация о конкретном значении состояния природы – агент имеет свое представление о плацдарме: $T + Ti$, но рефлексия при этом по-прежнему отсутствует (ранг рефлексии равен нулю).

Максимальная длина последовательности индексов, равная двум, соответствует единичному рангу рефлексии, когда агент имеет информацию о представлениях других агентов (и, в том числе, быть может, о своих собственных представлениях – в этом случае говорят об *авторефлексии* Tii) о плацдарме: $T + Ti + Tji$, и т.д.²⁹

²⁷ Отметим, что используемая система индексов (слева направо) является «обратной» предложенной В.А. Лефевром (справа налево).

²⁸ Вопрос о том, как i -й агент на основании информации, например, об θ_{iji} корректирует свои представления θ_i о возможных значениях состояния природы, заслуживает отдельного исследования.

²⁹ Рефлексия начальных уровней также может интерпретироваться следующим образом. Предположим, что есть субъект, который воспринимает окружающий его мир. Можно выделить несколько уровней восприятия (уровней рефлексии). На нулевом (бытийном, нерефлексивном) уровне у

В общем случае, если интерпретировать θ как плацдарм T , то конечной информационной структуре $I_i = (\theta_i, \theta_{ij}, \theta_{i_1 i_2 \dots i_k})$, $k < \infty$, i -го агента соответствует рефлексивный многочлен $T i + T j i + \dots + T i_k \dots i = (T + T j + \dots + i_k \dots) i$. Другими словами, и информационные структуры, и рефлексивные многочлены описывают информированность агентов, однако информационные структуры позволяют конструктивно учитывать взаимную информированность агентов (см. раздел 3.2).

Примем следующее соглашение (аксиому автоинформированности): совпадение индексов, идущих подряд в записи информированности агентов, запрещено. Другими словами, запрещены модели информированности, включающие информацию, в записи которой фигурируют подряд одни и те же индексы, отражающие информированность агентов вида: «что я знаю (думаю и т.д.) о том, что оппонент думает (знает и т.д.) о том, что он знает (думает и т.д.) о ...» и т.д. Например, исключаются комбинации θ_{11} θ_{211} , θ_{1221} и т.д.

Введенная система классификаций позволяет ввести обозначение RG_{kl} , $k, l = 0, 1, 2, \dots$, для рефлексивных игр (Reflexive Games) двух лиц, где первый индекс на единицу превышает ранг рефлексии (и соответствующую информированность) первого

субъекта существуют определенные представления об окружающем мире (возникающие как его отражение), однако он не осознает, что представления могут быть неполными, искаженными и т.д. Образно говоря, при этом окружающий субъекта мир совпадает с представлениями о нем. Следующий (первый) уровень соответствует осознанию субъектом возможности различия окружающего мира и своих представлений об этом мире (при этом субъект получает возможность «посмотреть» на себя со стороны). В результате этого осознания могут измениться как представления о мире, так и способы его отражения. Первый уровень восприятия, на котором уже присутствует рефлексия, назовем научным, так как именно на нем впервые возникают осознанные различия между субъективным и объективным описанием действительности (характерным примером первого ранга рефлексии является научная рефлексия по Г.П. Щедровицкому [94]). Второй уровень рефлексии назовем философским, так как он характеризуется появлением представлений о многообразии способов отражения и осознанием возможности выбора способа познания. Продолжать наращивание уровней рефлексии можно и дальше, однако в рамках используемых интерпретаций содержательные интерпретации третьего, четвертого и др. (более высоких) уровней затруднительны.

агента, а второй индекс – ранг рефлексии (и соответствующую информированность) второго агента.

Между информированностью и рангом рефлексии в рамках рассматриваемой модели, очевидно, существует следующее соответствие: ранг рефлексии агента на единицу меньше максимального числа индексов, отражающих его информированность. Например, агент, имеющий информированность $I_i = (\theta_i, \theta_{ij}, \dots, \theta_{i_1 i_2 \dots i_k})$, где $i, j, i_1, i_2, \dots, i_k \in N$ обладает рангом рефлексии $k - 1$.

Введенные предположения налагают следующие ограничения на структуру информированности двух агентов: если $\theta_{i_1 i_2 \dots i_k} \neq \emptyset$ отражает информацию i -го агента, то $i_1 = i$ (то есть первый индекс всегда равен номеру агента, обладающего этой информацией); если $k > 2$, то индексы чередуются. Следовательно, при четных k (то есть при нечетных рангах рефлексии) $i_k = 3 - i$ (первый и последний индексы различаются), а при нечетных k (то есть при четных рангах рефлексии) $i_k = i$ (первый и последний индексы совпадают).

Таким образом, для задания рефлексивной игры необходимо, помимо целевых функций и допустимых множеств, перечислить информированности агентов, например, с помощью записи $RG_{kl}(I_1, I_2)$.

Сложность моделирования рефлексивных игр заключается отчасти в том, что приведенное описание и система классификаций произведены с точки зрения исследователя операций, то есть в каждом конкретном случае агенты могут не знать, в какую игру они играют.

В рамках модели принятия решений, описанной в [21, 62], будем считать, что каждый из агентов стремится с учетом всей имеющейся у него информации выбрать наилучшее с его точки зрения действие. Недостаточная информированность (отсутствие общего знания) приводит к тому, что фактический вектор действий агентов может отличаться от векторов, на которые они рассчитывают по отдельности, то есть реализуется не равновесие Нэша, а **информационное равновесие**,³⁰ которое является субъективным равновесием рефлексивной игры в традиционном

³⁰ Корректное определение информационного равновесия приведено в разделе 3.3.

смысле термина «равновесие». Примерами информационного равновесия рефлексивной игры двух лиц с конечной информационной структурой служат (3.18) и (3.20).

При устранении существующей в моделях рефлексивных игр неопределенности агенты могут использовать два подхода: рассчитывать на наихудшие значения неопределенных параметров, то есть использовать принцип гарантированного результата, что приводит к реализации *субъективного* (рефлексивного – с учетом принципов принятия решений оппонентами) *максиминного (гарантирующего) равновесия* (см. вторую главу настоящей работы); или «наделять» других агентов некоторой информированностью, например, той же, которой характеризуются они сами, что приводит к реализации *субъективного «информационного» равновесия*.

Отметим существенность прилагательного «субъективный», так как в рефлексивных играх каждый из агентов вычисляет «свое» равновесие, а исход игры (вектор действий агентов), в общем случае не является равновесием³¹ в «классическом» смысле [15, 21, 65]. При этом ключевой идеей является то, что каждый из агентов определяет «равновесие» *независимо* от других агентов, что существенно упрощает описание и исследование моделей их поведения.

Последнее утверждение существенно, так как оно позволяет рассматривать принципы принятия агентами решений, зависящие от той информации, которой они обладают к моменту принятия решений. Другими словами, вместо рефлексивной игры $RG_{kl}(I_1, I_2)$ можно рассматривать независимо две рефлексивные модели принятия решений агентами, обладающими иерархиями представлений I_1 и I_2 с рангами рефлексии $k - 1$ и $l - 1$, соответственно (еще раз подчеркнем, что ранг рефлексии агента в рассматриваемой модели определяется его информированностью). При этом существенно, что все знания агента (о состоянии природы, представлениях оппонента, его принципах принятия решений и т.д.) включены в его информированность – иерархию представлений.

³¹ Если классическое равновесие Нэша является «объективно» рациональным, то информационное равновесие является субъективно рациональным (в рамках имеющейся информированности).

Более подробно перечисленные аспекты рассматриваются в следующем разделе при систематическом описании информационной рефлексии.

3.2. ИНФОРМАЦИОННАЯ СТРУКТУРА ИГРЫ

Рассмотрим множество $N = \{1, 2, \dots, n\}$ агентов. Если в ситуации присутствует неопределенный параметр $\theta \in \Omega$ (будем считать, что множество Ω является общим знанием), то *структура информированности* I_i (как синоним будем употреблять термины *информационная структура* и иерархия представлений) i -го агента включает в себя следующие элементы. Во-первых, представление i -го агента о параметре θ – обозначим его θ_i , $\theta_i \in \Omega$. Во-вторых, представления i -го агента о представлениях других агентов о параметре θ – обозначим их θ_{ij} , $\theta_{ij} \in \Omega$, $j \in N$. В третьих, представления i -го агента о представлении j -го агента о представлении k -го агента – обозначим их θ_{ijk} , $\theta_{ijk} \in \Omega$, $j, k \in N$. И так далее.

Таким образом, структура информированности I_i i -го агента задается набором всевозможных значений вида $\theta_{ij_1 \dots j_l}$, где l пробегает множество целых неотрицательных чисел, $j_1, \dots, j_l \in N$, а $\theta_{ij_1 \dots j_l} \in \Omega$.

Аналогично задается *структура информированности* I игры в целом – набором значений $\theta_{i_1 \dots i_l}$, где l пробегает множество целых неотрицательных чисел, $j_1, \dots, j_l \in N$, а $\theta_{ij_1 \dots j_l} \in \Omega$. Подчеркнем, что структура информированности I «недоступна» наблюдению агентов, каждому из которых известна лишь некоторая ее часть.

Таким образом, структура информированности – бесконечное n -дерево (то есть тип структуры постоянен и является n -деревом), вершинам которого соответствует конкретная информированность реальных и фантомных агентов.

Рефлексивной игрой Γ_I назовем игру, описываемую следующим кортежем:

$$\Gamma_I = \{N, (X_i)_{i \in N}, f_i(\cdot)_{i \in N}, I\}, \quad (3.40)$$

где N – множество реальных агентов, X_i – множество допустимых действий i -го агента, $f_i(\cdot): \Omega \times X' \rightarrow \mathcal{R}^1$ – его целевая функция, $i \in N$, I – структура информированности.

Таким образом, рефлексивная игра является обобщением понятия игры в нормальной форме, задаваемой кортежем $\{N, (X_i)_{i \in N}, f_i(\cdot)_{i \in N}\}$, на случай, когда информированность агентов отражена иерархией их представлений (информационной структурой Γ). В рамках принятого определения «классическая» игра в нормальной форме является частным случаем рефлексивной игры – игры с общим знанием. В «предельном» случае – когда состояние природы является общим знанием – предлагаемая в настоящей работе концепция решения рефлексивной игры (информационное равновесие – см. раздел 3.3) переходит в равновесие Нэша.

Совокупность связей между элементами информированности агентов можно изобразить в виде дерева (см. рис. 3.9). При этом структура информированности i -го агента изображается поддеревом, исходящим из вершины θ_i .

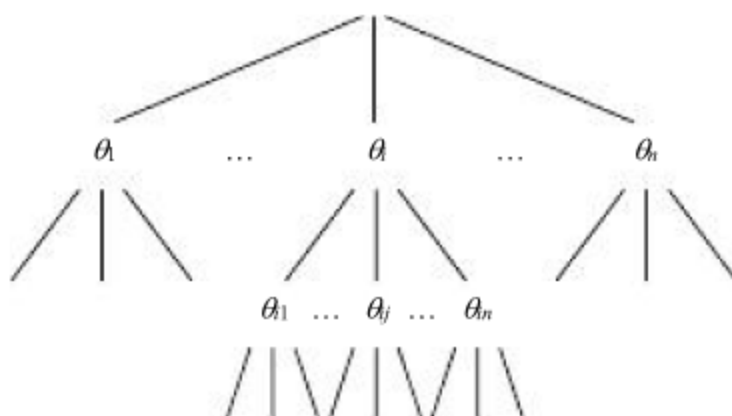


Рис. 3.9. Дерево информационной структуры

Сделаем важное замечание: в настоящей работе мы ограничимся рассмотрением «точечной» структуры информированности, компоненты которой состоят лишь из элементов множества Ω . Более общим случаем является, например, интервальная или вероятностная информированность (см. описание моделей информированности в разделе 1.3 и обсуждение перспектив дальнейших исследований в заключении).

Для формулировки некоторых определений и свойств нам понадобятся следующие обозначения:

Σ_+ – множество всевозможных конечных последовательностей индексов из N ;

Σ – объединение Σ_+ с пустой последовательностью;

$|\sigma|$ – количество индексов в последовательности σ (для пустой последовательности принимается равным нулю), которое выше было названо длиной последовательности индексов.

Если θ_i – представления i -го агента о неопределенном параметре, а θ_{ii} – представления i -го агента о собственном представлении, то естественно считать, что $\theta_{ii} = \theta_i$. Иными словами, i -й агент правильно информирован о собственных представлениях, а также считает, что таковы и другие агенты и т. д. Формально это означает, что выполнена *аксиома автоинформированности*, которую далее будем предполагать выполненной.

Аксиома автоинформированности:

$$\forall i \in N \forall \tau, \sigma \in \Sigma \theta_{ii\sigma} = \theta_{i\sigma}.$$

Эта аксиома означает, в частности, что, зная θ_τ для всех $\tau \in \Sigma_+$, таких что $|\tau| = \gamma$, можно однозначно найти θ_τ для всех $\tau \in \Sigma_+$, таких что $|\tau| < \gamma$.

Наряду со структурами информированности $I_i, i \in N$, можно рассматривать структуры информированности I_{ij} (структура информированности j -го агента в представлении i -го агента), I_{ijk} и т.д. Отождествляя структуру информированности с характеризуемым ею агентом, можно сказать, что, наряду с n реальными агентами (i -агентами, где $i \in N$) со структурами информированности I_i , в игре участвуют **фантомные агенты** (τ -агенты, где $\tau \in \Sigma_+, |\tau| \geq 2$) со структурами информированности $I_\tau = \{\theta_{\tau\sigma}\}, \sigma \in \Sigma$. Фантомные агенты, существуя в сознании реальных агентов, влияют на их действия, о чем пойдет речь далее.

Определим фундаментальное для дальнейших рассмотрений понятие тождественности структур информированности.

Структуры информированности I_λ и I_μ ($\lambda, \mu \in \Sigma_+$) называются *тождественными*, если выполнены два условия:

1. $\theta_{\lambda\sigma} = \theta_{\mu\sigma}$ для любого $\sigma \in \Sigma$;
2. последние индексы в последовательностях λ и μ совпадают.

Будем обозначать тождественность структур информированности следующим образом: $I_\lambda = I_\mu$.

Первое из двух условий в определении тождественности структур прозрачно, второе же требует некоторых пояснений. Дело в том, что далее мы будем обсуждать действие τ -агента в зависимости от его структуры информированности I_τ и целевой функции f_i , которая как раз определяется последним индексом

последовательности τ . Поэтому удобно считать, что тождественность структур информированности означает в том числе и тождественность целевых функций.

Утверждение 5. $I_\lambda = I_\mu \Leftrightarrow \forall \sigma \in \Sigma \ I_{\lambda\sigma} = I_{\mu\sigma}$.

Доказательство. $I_\lambda = I_\mu \Rightarrow \forall \sigma, \kappa \in \Sigma \ \theta_{\lambda\sigma\kappa} = \theta_{\mu\sigma\kappa} \Rightarrow \forall \sigma \in \Sigma \ I_{\lambda\sigma} = I_{\mu\sigma}$. Обратная импликация очевидна: достаточно положить σ равной пустой последовательности. •

Содержательный смысл утверждения 5 состоит в том, что тождественность двух структур информированности в точности означает тождественность всех их подструктур.

Следующее утверждение является, по сути, иной формулировкой аксиомы автоинформированности.

Утверждение 6. $\forall i \in N \ \forall \tau, \sigma \in \Sigma \ I_{\pi i \sigma} = I_{\pi \sigma}$

Доказательство. $\forall i \in N \ \forall \tau, \sigma \in \Sigma \ \theta_{\pi i \sigma} = \theta_{\pi \sigma} \Leftrightarrow \forall i \in N \ \forall \tau, \sigma, \kappa \in \Sigma \ \theta_{\pi i \sigma \kappa} = \theta_{\pi \sigma \kappa} \Leftrightarrow \forall i \in N \ \forall \tau, \sigma \in \Sigma \ I_{\pi i \sigma} = I_{\pi \sigma}$. •

Определение тождественности структур информированности (как и последующие, приводимые в настоящем разделе) можно переформулировать так, чтобы соответствующее свойство структуры информированности выполнялось не объективно, а τ -субъективно – в представлении τ -агента ($\tau \in \Sigma_+$): структуры информированности I_λ и I_μ ($\lambda, \mu \in \Sigma_+$) называются τ -субъективно тождественными, если $I_{\tau\lambda} = I_{\tau\mu}$.

В дальнейшем будем формулировать определения и утверждения сразу τ -субъективно для $\tau \in \Sigma$, имея в виду, что если τ – пустая последовательность индексов, то « τ -субъективно» означает «объективно».

λ -агент называется τ -субъективно адекватно информированным о представлениях μ -агента (или, короче, о μ -агенте), если

$$I_{\tau\lambda\mu} = I_{\tau\mu} \quad (\lambda, \mu \in \Sigma_+, \tau \in \Sigma).$$

Будем обозначать τ -субъективную адекватную информированность λ -агента о μ -агенте следующим образом: $I_\lambda >_\tau I_\mu$.

Утверждение 7. Каждый реальный агент τ -субъективно считает себя адекватно информированным о любом агенте, то есть

$$\forall i \in N \ \forall \tau \in \Sigma \ \forall \sigma \in \Sigma_+ \ I_i >_{\tau i} I_\sigma.$$

Доказательство. В силу утверждения 6 справедливо тождество $I_{\pi i \sigma} = I_{\pi \sigma}$ что по определению τ -субъективно тождественных структур информированности означает, что $I_i >_{\tau i} I_\sigma$. •

Содержательно утверждение 7 отражает тот факт, что рассматриваемая точечная структура информированности подразумевает наличие у каждого агента уверенности в своей адекватной информированности о всех элементах этой структуры.

λ -агент и μ -агент называются τ -субъективно взаимно информированными, если одновременно выполнены тождества

$$I_{\tau\lambda\mu} = I_{\tau\mu\lambda}, \quad I_{\tau\mu\lambda} = I_{\tau\lambda} \quad (\lambda, \mu \in \Sigma_+, \tau \in \Sigma).$$

Будем обозначать τ -субъективную взаимную информированность λ -агента и μ -агента следующим образом: $I_\lambda >_{\tau} I_\mu$.

λ -агент и μ -агент называются τ -субъективно одинаково информированными о σ -агенте, если $I_{\tau\lambda\sigma} = I_{\tau\mu\sigma}$ ($\sigma, \lambda, \mu \in \Sigma_+, \tau \in \Sigma$).

Будем обозначать τ -субъективную одинаковую информированность λ -агента и μ -агента о σ -агенте следующим образом:

$$I_\lambda >_{\sigma} I_\mu.$$

λ -агент и μ -агент называются τ -субъективно одинаково информированными, если $\forall i \in N \quad I_{\tau\lambda i} = I_{\tau\mu i}$ ($\lambda, \mu \in \Sigma_+, \tau \in \Sigma$).

Будем обозначать τ -субъективную одинаковую информированность λ -агента и μ -агента следующим образом: $I_\lambda \sim_{\tau} I_\mu$.

Отметим, что отношения одинаковой информированности о каком-либо агенте и одинаковой информированности являются отношениями эквивалентности (то есть рефлексивны, симметричны и транзитивны на множестве агентов).

Покажем, что одинаковая информированность равносильна одинаковой информированности о любом агенте.

Утверждение 8. $I_\lambda \sim_{\tau} I_\mu \Leftrightarrow \forall \sigma \in \Sigma_+ \quad I_\lambda >_{\sigma} I_\mu$.

Доказательство. $I_\lambda \sim_{\tau} I_\mu \Leftrightarrow \forall i \in N \quad I_{\tau\lambda i} = I_{\tau\mu i} \Leftrightarrow \{\text{в силу утверждения 5}\} \Leftrightarrow \forall i \in N \quad \forall \kappa \in \Sigma \quad I_{\tau\lambda i\kappa} = I_{\tau\mu i\kappa} \Leftrightarrow \{\text{полагая } \sigma = i \kappa\} \Leftrightarrow \forall \sigma \in \Sigma_+ \quad I_{\tau\lambda\sigma} = I_{\tau\mu\sigma} \Leftrightarrow \forall \sigma \in \Sigma_+ \quad I_\lambda >_{\sigma} I_\mu. \bullet$

Приведенные определения показывают, что описание ситуации в содержательных терминах адекватной, взаимной и одинаковой информированности могут быть описаны через тождество соответствующих структур информированности. Следующее утверждение касается связи введенных понятий друг с другом.

Утверждение 9. Для любого $\tau \in \Sigma$ следующие три условия равносильны:

1. любые два реальных агента τ -субъективно являются взаимно информированными;

2. все реальные агенты τ -субъективно являются одинаково информированными;

3. для любого $i \in N$ значение $I_{\sigma i}$ τ -субъективно зависит только от i .

То есть для любого $\tau \in \Sigma$ выполнено:

$$(\forall i, j \in N I_i >_{\tau} I_j) \Leftrightarrow (I_1 \sim_{\tau} \dots \sim_{\tau} I_n) \Leftrightarrow (\forall i \in N \forall \sigma \in \Sigma I_{\tau \sigma i} = I_{\pi i}).$$

Доказательство. Докажем для трех условий утверждения импликации $1 \Rightarrow 2, 2 \Rightarrow 3, 3 \Rightarrow 1$.

$1 \Rightarrow 2$. Для любых $i, j, m \in N$ имеем $I_i >_{\tau} I_m, I_j >_{\tau} I_m$, что означает выполнение тождеств $I_{\pi i m} = I_{\sigma m}, I_{\pi j m} = I_{\sigma m}$. Отсюда $I_{\pi i m} = I_{\pi j m}$, что доказывает условие 2 (с учетом утверждения 8).

$2 \Rightarrow 3$. Для пустой последовательности σ условие 3 тривиально, поэтому возьмем произвольную непустую последовательность $\sigma \in \Sigma_+$. Тогда $\sigma = i_1 \dots i_l$ ($i_k \in N, k = 1, \dots, l$), при этом для любого $i \in N$ справедливы следующие соотношения:

$$\begin{aligned} I_{\sigma} &= \{\text{в силу утверждения 6}\} = I_{\pi i} = \{\text{поскольку } I_i \sim_{\tau} I_{i_1}\} = I_{\pi i_1 i} \\ &= \{\text{в силу утверждения 6}\} = I_{\pi i_1 i_1 i} = \{\text{поскольку } I_{i_1} \sim_{\tau} I_{i_{l-1}} \text{ и в силу утверждения 8}\} \\ &= I_{\pi i_{l-1} i_1 i} = \dots = I_{\pi i_1 \dots i_l i} = I_{\tau \sigma i}. \end{aligned}$$

$3 \Rightarrow 1$. Для любых $i, j \in N$ имеем $I_{\pi j} = I_{\pi j}, I_{\pi j i} = I_{\pi i}$, что означает $I_i >_{\tau} I_j$. •

Понятие тождественности структур информированности позволяет определить их важное свойство – сложность. Заметим, что наряду со структурой I имеется счетное множество структур $I_{\tau}, \tau \in \Sigma_+$, среди которых можно при помощи отношения тождественности выделить классы попарно нетождественных структур. Количество этих классов естественно считать *сложностью структуры информированности*.

Будем говорить, что структура информированности I имеет *конечную сложность* $\nu = \mathfrak{N}(I)$, если существует такой конечный набор попарно нетождественных структур $\{I_{\tau_1}, I_{\tau_2}, \dots, I_{\tau_{\nu}}\}$, $\tau_l \in \Sigma_+, l \in \{1, \dots, \nu\}$, что для любой структуры $I_{\sigma}, \sigma \in \Sigma_+$, найдется тождественная ей структура I_{τ_l} из этого набора. Если такого конечного набора не существует, будем говорить, что структура I имеет *бесконечную сложность*: $\mathfrak{N}(I) = \infty$.

Структуру информированности, имеющую конечную сложность, будем называть *конечной* (еще раз отметим, что при этом

дерево структуры информированности все равно остается бесконечным). В противном случае структуру информированности будем называть *бесконечной*.

Ясно, что минимально возможная сложность структуры информированности в точности равна числу участвующих в игре реальных агентов (напомним, что по определению тождественности структур информированности они попарно различаются у реальных агентов).

Любой набор (конечный или счетный) попарно нетождественных структур I_τ , $\tau \in \Sigma_+$, такой, что любая структура I_σ , $\sigma \in \Sigma_+$, тождественна одной из них, назовем *базисом* структуры информированности I .

Если структура информированности I имеет конечную сложность, то можно определить максимальную длину последовательности индексов γ такую, что, зная все структуры I_τ , $\tau \in \Sigma_+$, $|\tau| = \gamma$, можно найти и все остальные структуры. Эта длина в определенном смысле характеризует ранг рефлексии, необходимый для описания структуры информированности.

Будем говорить, что структура информированности I , $\kappa(I) < \infty$, имеет *конечную глубину* $\gamma = \gamma(I)$, если

1. для любой структуры I_σ , $\sigma \in \Sigma_+$, найдется тождественная ей структура I_τ , $\tau \in \Sigma_+$, $|\tau| \leq \gamma$;

2. для любого целого положительного числа ξ , $\xi < \gamma$, существует структура I_σ , $\sigma \in \Sigma_+$, не тождественная никакой из структур I_τ , $\tau \in \Sigma_+$, $|\tau| = \xi$.

Если $\kappa(I) = \infty$, то и глубину будем считать бесконечной: $\gamma(I) = \infty$.

Имея описание структуры информированности, можно рассматривать процесс совместного принятия решений реальными и фантомными агентами, что приводит к понятию информационного равновесия.

3.3. ИНФОРМАЦИОННОЕ РАВНОВЕСИЕ

Если задана структура I информированности игры, то тем самым задана и структура информированности каждого из агентов (как реальных, так и фантомных). Выбор τ -агентом своего действия x_τ в рамках гипотезы рационального поведения определяется его

структурой информированности I_τ , поэтому, имея перед собой эту структуру, можно смоделировать его рассуждения и определить это его действие. Выбирая свое действие, агент моделирует действия других агентов (осуществляет рефлекссию). Поэтому при определении исхода игры необходимо учитывать действия как реальных, так и фантомных агентов.

Набор действий x_τ^* , $\tau \in \Sigma_+$, назовем **информационным равновесием**, если выполнены следующие условия: 1. структура информированности I имеет конечную сложность ν ; 2. $\forall \lambda, \mu \in \Sigma_+$ $I_\lambda = I_\mu \Rightarrow x_\lambda^* = x_\mu^*$; 3. $\forall i \in N, \forall \sigma \in S$

$$x_{\sigma i}^* \in \operatorname{Arg} \max_{x_i \in X_i} f_i(\theta_{\sigma i}, x_{\sigma i 1}^*, \dots, x_{\sigma i, i-1}^*, x_i, x_{\sigma i, i+1}^*, \dots, x_{\sigma i, n}^*). \quad (3.41)$$

Первое условие в определении информационного равновесия означает, что в рефлексивной игре участвует конечное число реальных и фантомных агентов. Второе условие отражает требование того, что одинаково информированные агенты выбирают одинаковые действия. И, наконец, третье условие отражает рациональное поведение агентов – каждый из них стремится выбором собственного действия максимизировать свою целевую функцию, подставляя в нее действия других агентов, которые оказываются рациональными с точки зрения рассматриваемого агента в рамках имеющихся у него представлений о других агентах. Необходимость третьего условия в определении информационного равновесия, по-видимому, не вызывает сомнений. Приведем два примера, показывающих важность первых двух условий.

Примеры 6-7. В этих примерах участвуют два агента с целевыми функциями следующего вида:

$$f_1(\theta, x_1, x_2) = (\theta - x_2)x_1 - \frac{x_1^2}{2}, \quad f_2(\theta, x_1, x_2) = (\theta - x_1)x_2 - \frac{x_2^2}{2},$$

где $x_i \in \mathcal{H}$, $i = 1, 2$. Различие лишь в структурах информированности.

Пример 6. Пусть структура информированности имеет следующий вид (напомним, что в силу аксиомы автоинформированности можно не рассматривать элементы с идущими подряд одинаковыми индексами):

$$\begin{aligned} \theta_1 &= 1, \theta_{12} = 3, \theta_{121} = 5, \theta_{1212} = 7, \dots; \\ \theta_2 &= 2, \theta_{21} = 4, \theta_{212} = 6, \theta_{2121} = 8, \dots \end{aligned}$$

Она имеет бесконечную сложность. Система уравнений (3.41) в данном случае принимает следующий вид:

$$\begin{array}{ll} x_1 = 1 - x_{12}, & x_2 = 2 - x_{21}, \\ x_{12} = 3 - x_{121}, & x_{21} = 4 - x_{212}, \\ x_{121} = 5 - x_{1212}, & x_{212} = 6 - x_{2121}, \\ x_{1212} = 7 - x_{12121}, & x_{2121} = 8 - x_{21212}, \\ \text{и т.д.;} & \text{и т.д.} \end{array}$$

Видно, что в системе счетное число уравнений, причем решений у нее бесконечно много – произвольно выбирая значения x_1 и x_2 , можно выразить через них остальные переменные. •

Пример 7. Пусть структура информированности имеет следующий вид: $\theta_\sigma = 1$ для любого $\sigma \in \Sigma_+$. Если при этом условие 2 определения информационного равновесия не выполнено, то в системе (41) оказывается счетное число уравнений:

$$\begin{array}{ll} x_1 = 1 - x_{12}, & x_2 = 1 - x_{21}, \\ x_{12} = 1 - x_{121}, & x_{21} = 1 - x_{212}, \\ x_{121} = 1 - x_{1212}, & x_{212} = 1 - x_{2121}, \\ x_{1212} = 1 - x_{12121}, & x_{2121} = 1 - x_{21212}, \\ \text{и т.д.;} & \text{и т.д.} \end{array}$$

И здесь, как и в примере 6, решений бесконечно много – произвольно выбирая значения x_1 и x_2 , можно выразить через них остальные переменные. •

В соответствии с условием 2, для определения информационного равновесия требуется решить, казалось бы, бесконечное (счетное) число уравнений и получить столько же значений x_τ^* . Однако оказывается, что на самом деле число уравнений и значений конечно.

Утверждение 10. Если информационное равновесие x_τ^* , $\tau \in \Sigma_+$, существует, то оно состоит из не более чем v попарно различных действий, а в системе (3.41) содержится не более чем v попарно различных уравнений.

Доказательство. Пусть x_τ^* , $\tau \in \Sigma_+$, – информационное равновесие. Тогда из конечности структуры информированности и условия 2 сразу следует, что попарно различных чисел x_τ^* не более v .

Рассмотрим две любые тождественные структуры информированности: $I_\lambda = I_\mu$. Соответственно, имеем $\theta_\lambda = \theta_\mu$ и $x_\lambda^* = x_\mu^*$. Далее, для любого $i \in N$ справедливо $I_{\lambda i} = I_{\mu i}$, следовательно,

$x_{\lambda i}^* = x_{\mu i}^*$. Поэтому два уравнения системы (3.41), у которых в левой части стоят действия x_{λ}^* и x_{μ}^* , тождественно совпадают. •

Таким образом, для нахождения информационного равновесия x_{τ}^* , $\tau \in \Sigma_+$, достаточно записать ν условий (3.41) для каждого из ν попарно различных значений x_{τ}^* , отвечающих попарно различным структурам информированности I_{τ} .

Если все агенты являются одинаково информированными, то сложность структуры информированности минимальна и равна числу агентов. В этом случае система (3.41) переходит в определение равновесия Нэша, а информационное равновесие – в равновесие Нэша.

Итак, в случае, когда все реальные агенты являются одинаково информированными (то есть рефлексивная реальность является общим знанием), информационное равновесие переходит в равновесие Нэша (фантомных агентов «не возникает»). Однако и в общем случае между информационным равновесием и равновесием Нэша существует тесная связь.

Пусть имеется структура информированности I конечной сложности ν с базисом $\{I_{\tau_1}, \dots, I_{\tau_{\nu}}\}$. Тогда в информационном равновесии участвуют реальные и фантомные агенты из множества $\Xi = \{\tau_1, \dots, \tau_{\nu}\}$, каждый из которых выбирает действие $\{x_{\tau_1}, \dots, x_{\tau_{\nu}}\}$ соответственно, $x_{\tau_l} \in X_{\omega(\tau_l)}$, $l \in \{1, \dots, \nu\}$ – здесь и далее в этом разделе будем обозначать $\omega(\sigma)$ последний индекс в последовательности σ , где $\sigma \in \Sigma_+$.

Запишем целевую функцию каждого из агентов из множества Ξ следующим образом:

$$\varphi_{\tau_l}(x_{\tau_1}, \dots, x_{\tau_{\nu}}) = f_{\omega(\tau_l)}(\theta_{\tau_l}, x_{\sigma_1}, \dots, x_{\sigma_{\nu}}), \quad (42)$$

где $I_{\tau_l} = I_{\sigma_l}$, $\sigma_l \in X$ для всех $l \in N$, $l \in \{1, \dots, \nu\}$. Заметим, что $I_{\sigma_{\omega(\tau_l)}} = I_{\tau_l \omega(\tau_l)} = I_{\tau_l}$, поэтому соотношение (3.42) можно записать

более подробно в следующем виде:

$$\begin{aligned} \varphi_{\tau_l}(x_{\tau_1}, \dots, x_{\tau_{l-1}}, x_{\tau_l}, x_{\tau_{l+1}}, \dots, x_{\tau_{\nu}}) = \\ = f_{\omega(\tau_l)}(\theta_{\tau_l}, x_{\sigma_1}, \dots, x_{\sigma_{\omega(\tau_l)-1}}, x_{\tau_l}, x_{\sigma_{\omega(\tau_l)+1}}, \dots, x_{\sigma_{\nu}}). \end{aligned} \quad (3.43)$$

Содержательно соотношения (3.42) и (3.43) означают следующее: целевая функция, которую τ_l -агент ($\tau_l \in X$) максимизирует в рефлексивной игре, субъективно зависит от его представлений о па-

параметре θ , от его действия и от действий $(n - 1)$ агента из множества Ξ . Иными словами, функция φ_{τ_l} существенно зависит лишь от переменных $\{x_{\tau_1}, \dots, x_{\tau_v}\}$ (и от величины θ_{τ_l} как от параметра), причем эта зависимость совпадает с функцией f_i , где $i = \omega(\tau_l)$. Поэтому функция φ_{τ_l} «наследует» свойства функции $f_{\omega(\tau_l)}$.

Несколько забегаая вперед, приведем следующий пример. Пусть граф рефлексивной игры (см. следующий раздел) выглядит как на рис. 3.11 (см. пример 9), а целевые функции реальных агентов — $f_i(\theta, x_1, x_2, x_3)$, $x_i \in X_i$, $i \in \{1, 2, 3\}$. Тогда в информационном равновесии участвуют пять агентов из множества $\Xi = \{1, 2, 3, 31, 32\}$ со следующими целевыми функциями:

$$\begin{aligned}\varphi_1(x_1, x_2, x_3, x_{31}, x_{32}) &= f_1(\theta_1, x_1, x_2, x_3); \\ \varphi_2(x_1, x_2, x_3, x_{31}, x_{32}) &= f_2(\theta_2, x_1, x_2, x_3); \\ \varphi_3(x_1, x_2, x_3, x_{31}, x_{32}) &= f_3(\theta_3, x_{31}, x_{32}, x_3); \\ \varphi_{31}(x_1, x_2, x_3, x_{31}, x_{32}) &= f_1(\theta_{31}, x_{31}, x_{32}, x_3); \\ \varphi_{32}(x_1, x_2, x_3, x_{31}, x_{32}) &= f_2(\theta_{32}, x_{31}, x_{32}, x_3).\end{aligned}$$

С учетом соотношения (3.43) система уравнений (3.41) для определения информационного равновесия $(x_{\tau_1}^*, \dots, x_{\tau_v}^*)$ представляется в виде:

$$x_{\tau_l}^* = \arg \max_{x_{\tau_l} \in X_{\omega(\tau_l)}} \varphi_{\tau_l}(x_{\tau_{l-1}}^*, \dots, x_{\tau_{l-1}}^*, x_{\tau_l}, x_{\tau_{l+1}}^*, \dots, x_{\tau_v}^*),$$

где l пробегает все значения от 1 до v . Нетрудно видеть, что это не что иное, как система соотношений для определения равновесия Нэша в игре с одинаковой информированностью τ_l -агентов, $l \in \{1, \dots, v\}$. Это обстоятельство позволяет применять к информационному равновесию (соответствующим образом модифицировав) достаточные условия существования, известные для равновесия Нэша.

Например, известен следующий факт (см. [21, С. 74]): если в непрерывной игре множества действий X_i — выпуклые подмножества линейных метрических пространств, для каждого агента целевая функция f_i непрерывна по всем переменным и строго вогнута по переменной x_i , то в этой игре существует равновесие Нэша в чистых стратегиях.

Этот факт можно переформулировать, получив достаточное условие существования информационного равновесия в рефлексивной игре.

Утверждение 11. Пусть в рефлексивной игре со структурой информированности конечной сложности множества действий X_i – выпуклые компактные подмножества \mathcal{X}^n , для каждого агента целевая функция $f_i(\theta, x_1, \dots, x_n)$ при любом $\theta \in \Omega$ непрерывна по всем переменным и строго вогнута по переменной x_i . Тогда в этой игре существует информационное равновесие.

Доказательство. Непрерывность по всем аргументам функции f_i и ее строгая вогнутость по переменной x_i означает непрерывность по всем аргументам функций φ_{τ_i} (где $\tau_i \in \Xi$, $\omega(\tau_i) = i$), определяемых соотношениями (3.43), и строгую вогнутость каждой из них по x_{τ_i} . Поэтому утверждение сразу вытекает из приведенного выше факта [21, С. 74]. •

Как нетрудно убедиться, требуемыми свойствами обладают целевые функции из примеров 8-10. Поэтому информационное равновесие для рефлексивных игр с этими функциями существует для любых структур информированности конечной сложности.

Информационное равновесие (см. (3.41)) является достаточно громоздкой конструкцией, и сразу увидеть связь между информационной структурой и информационным равновесием зачастую бывает затруднительно. Удобным языком описания взаимной информированности агентов и выразительным средством анализа свойств информационного равновесия является граф рефлексивной игры, к описанию которого мы и переходим.

3.4. ГРАФ РЕФЛЕКСИВНОЙ ИГРЫ

Если структура информированности имеет конечную сложность, то можно построить *граф рефлексивной игры*, наглядно показывающий взаимосвязь между действиями агентов (как реальных, так и фантомных), участвующих в равновесии.

Вершинами этого ориентированного графа являются действия x_{τ} , $\tau \in \Sigma_+$, отвечающие попарно нетождественным структурам информированности I_{τ} или компоненты структуры информированности θ_{τ} или просто номер τ реального или фантомного агента, $\tau \in \Sigma_+$. Между вершинами проведены дуги по следующему прави-

лу: к каждой вершине $x_{\sigma i}$ проведены дуги от $(n - 1)$ вершин, отвечающих структурам $I_{\sigma ij}$, $j \in N \setminus \{i\}$. Если две вершины соединены двумя противоположно направленными дугами, будем изображать одно ребро с двумя стрелками.

Подчеркнем, что граф рефлексивной игры соответствует системе уравнений (3.41) (то есть определению информационного равновесия), в то время как решения ее может и не существовать.

Итак, граф G_I рефлексивной игры Γ_I (см. определение рефлексивной игры в предыдущем разделе), структура информированности которой имеет конечную сложность, определяется следующим образом:

- вершины графа G_I соответствуют реальным и фантомным агентам, участвующим в рефлексивной игре, то есть попарно нетождественным структурам информированности;

- дуги графа G_I отражают взаимную информированность агентов: если от одного агента (реального или фантомного) существует путь к другому агенту, то второй адекватно информирован о первом.

Если в вершинах графа G_I изображать представления соответствующего агента о состоянии природы, то рефлексивная игра Γ_I с конечной структурой информированности I может быть задана кортежем $\Gamma_I = \{N, (X_i)_{i \in N}, f_i(\cdot)_{i \in N}, G_I\}$, где N – множество реальных агентов, X_i – множество допустимых действий i -го агента, $f_i(\cdot): \Omega \times X' \rightarrow \mathcal{H}$ – его целевая функция, $i \in N$, G_I – граф рефлексивной игры. Отметим, что во многих случаях рефлексивную игру более удобно (и наглядно) описывать именно в терминах графа G_I , а не дерева информационной структуры.

Рассмотрим несколько примеров нахождения информационного равновесия.

Примеры 8-10. В этих примерах участвуют три агента с целевыми функциями следующего вида:

$$f_i(\theta, x_1, x_2, x_3) = (\theta - x_1 - x_2 - x_3)x_i - \frac{x_i^2}{2},$$

где $x_i \geq 0$, $i \in N = \{1, 2, 3\}$; $\theta \in \Omega = \{1, 2\}$.

Содержательно, x_i – объем выпуска продукции i -м агентом, θ – спрос на производимую продукцию. Тогда первое слагаемое в целевой функции может интерпретироваться как произведение цены на объем продаж – выручка от продаж (см. модели олиго-

полии Курно в [1, 126, 132]), а второе слагаемое – как затраты на производство. Для краткости будем называть агента, считающего, что спрос низкий ($\theta = 1$), пессимистом, а считающего, что спрос высокий ($\theta = 2$) – оптимистом. Таким образом, в примерах 8-10 ситуации различаются лишь вследствие различных структур информированности.

Пример 8. Пусть первые два агента оптимисты, а третий – пессимист, причем все трое одинаково информированы. Тогда, в соответствии с утверждением 9, для любого $\sigma \in \Sigma$ выполняются тождества $I_{\sigma 1} = I_1$, $I_{\sigma 2} = I_2$, $I_{\sigma 3} = I_3$.

В соответствии со свойством 2 определения информационного равновесия, аналогичные соотношения выполняются для равновесных действий x_σ^* . Видно, что любая структура информированности тождественна одной из трех, образующих базис: $\{I_1, I_2, I_3\}$. Поэтому сложность данной структуры информированности равна трем, а глубина равна единице. Граф рефлексивной игры изображен на рис. 3.10.

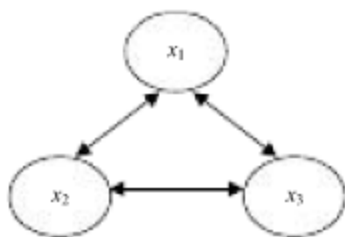


Рис. 3.10. Граф рефлексивной игры в примере 8

Для нахождения информационного равновесия надо решить следующую систему уравнений (см. выражение (3.41)):

$$\begin{cases} x_1^* = \frac{2 - x_2^* - x_3^*}{3}, \\ x_2^* = \frac{2 - x_1^* - x_3^*}{3}, \\ x_3^* = \frac{1 - x_1^* - x_2^*}{3}, \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} x_1^* = \frac{1}{2}, \\ x_2^* = \frac{1}{2}, \\ x_3^* = 0. \end{cases}$$

Таким образом, действия агентов в ситуации информационного равновесия будут следующими: $x_1^* = x_2^* = 1/2$, $x_3^* = 0$. •

Пример 9. Пусть первые два агента оптимисты, а третий – пессимист, который считает всех трех агентов одинаково информированными пессимистами. Первые два агента одинаково информированы, причем оба они адекватно информированы о третьем агенте.

Имеем: $I_1 \sim I_2$, $I_1 > I_3$, $I_2 > I_3$, $I_1 \sim_3 I_2 \sim_3 I_3$. Эти условия можно записать в виде следующих тождеств, имеющих место для любого $\sigma \in \Sigma$ (воспользуемся соответствующими определениями и утверждениями 5, 6, 9): $I_{12\sigma} = I_{2\sigma}$, $I_{13\sigma} = I_{3\sigma}$, $I_{21\sigma} = I_{1\sigma}$, $I_{23\sigma} = I_{3\sigma}$, $I_{3\sigma 1} = I_{31}$, $I_{3\sigma 2} = I_{32}$, $I_{3\sigma 3} = I_3$. Аналогичные соотношения выполняются для равновесных действий x_σ^* . Левые части этих тождеств показывают, что любая структура I_σ при $|\sigma| > 2$ тождественна некоторой структуре I_τ , $|\tau| < |\sigma|$. Поэтому глубина структуры I не превосходит двух и, следовательно, она имеет конечную сложность. Правые части показывают, что базис образуют следующие структуры: $\{I_1, I_2, I_3, I_{31}, I_{32}\}$ (нетрудно убедиться, что они попарно различны). Таким образом, сложность данной структуры информированности равна пяти, а глубина равна двум. Граф рефлексивной игры изображен на рис. 3.11.

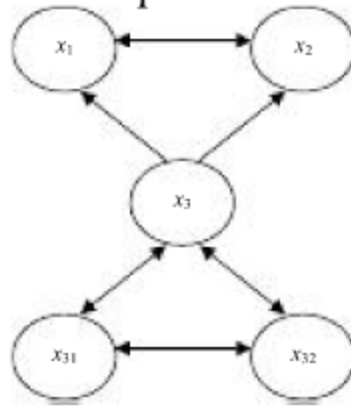


Рис. 3.11. Граф рефлексивной игры в примере 9

Для нахождения информационного равновесия надо решить следующую систему уравнений (см. выражение (3.41)):

$$\begin{cases} x_1^* = \frac{2 - x_2^* - x_3^*}{3}, \\ x_2^* = \frac{2 - x_1^* - x_3^*}{3}, \\ x_3^* = \frac{1 - x_{31}^* - x_{32}^*}{3}, \\ x_{31}^* = \frac{1 - x_{32}^* - x_3^*}{3}, \\ x_{32}^* = \frac{1 - x_{31}^* - x_3^*}{3}, \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} x_1^* = \frac{9}{20}, \\ x_2^* = \frac{9}{20}, \\ x_3^* = \frac{1}{5}, \\ x_{31}^* = \frac{1}{5}, \\ x_{32}^* = \frac{1}{5}. \end{cases}$$

Таким образом, действия реальных агентов в ситуации информационного равновесия будут следующими: $x_1^* = x_2^* = 9/20$, $x_3^* = 1/5$. •

Пример 10. Пусть все трое агентов оптимисты, первый и второй взаимно информированы, второй и третий также взаимно информированы. По мнению первого агента, третий считает всех троих одинаково информированными пессимистами; также и первый агент, по мнению третьего, считает всех троих одинаково информированными пессимистами.

Имеем: $I_1 \succ I_2$, $I_2 \succ I_3$, $I_1 \sim_{13} I_2 \sim_{13} I_3$, $I_1 \sim_{31} I_2 \sim_{31} I_3$. Эти условия можно записать в виде следующих тождеств, имеющих место для любого $\sigma \in \Sigma$ (воспользуемся соответствующими определениями и утверждениями 5, 6, 9): $I_{12\sigma} = I_{2\sigma}$, $I_{13\sigma 1} = I_{131}$, $I_{13\sigma 2} = I_{132}$, $I_{13\sigma 3} = I_{13}$, $I_{21\sigma} = I_{1\sigma}$, $I_{23\sigma} = I_{3\sigma}$, $I_{31\sigma 1} = I_{31}$, $I_{31\sigma 2} = I_{312}$, $I_{31\sigma 3} = I_{313}$, $I_{32\sigma} = I_{2\sigma}$. Аналогичные соотношения выполняются для равновесных действий x_σ^* . Левые части этих тождеств показывают, что любая структура I_σ при $|\sigma| > 3$ тождественна некоторой структуре I_τ , $|\tau| \leq |\sigma|$. Поэтому глубина структуры I не превосходит трех и, следовательно, она имеет конечную сложность. Правые части тождеств показывают, что в базис могут входить лишь следующие структуры информированности: $I_1, I_2, I_3, I_{31}, I_{13}, I_{131}, I_{132}, I_{312}, I_{313}$. Далее, для любого $\sigma \in \Sigma$ справедливы соотношения $\theta_{131\sigma} = \theta_{31\sigma} = \theta_{313\sigma} = \theta_{13\sigma} = \theta_{123\sigma} = \theta_{213\sigma} = 1$, из которых вытекают тождества $I_{131} = I_{31}$, $I_{313} = I_{13}$, $I_{123} = I_{213}$.

Таким образом, базис образуют следующие попарно различные структуры: $\{I_1, I_2, I_3, I_{31}, I_{13}, I_{132}\}$. Сложность данной структуры информированности равна шести, а глубина равна трем. Граф соответствующей рефлексивной игры изображен на рис. 3.12.

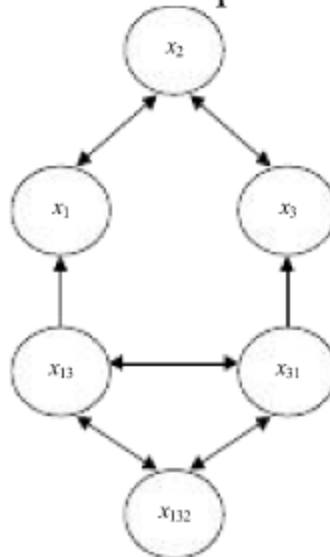


Рис. 3.12. Граф рефлексивной игры в примере 10

Для нахождения информационного равновесия надо решить следующую систему уравнений (см. выражение (3.41)):

$$\left\{ \begin{array}{l} x_1^* = \frac{2 - x_2^* - x_{13}^*}{3}, \\ x_2^* = \frac{2 - x_1^* - x_3^*}{3}, \\ x_3^* = \frac{2 - x_{31}^* - x_2^*}{3}, \\ x_{31}^* = \frac{1 - x_{132}^* - x_{13}^*}{3}, \\ x_{13}^* = \frac{1 - x_{31}^* - x_{132}^*}{3}, \\ x_{132}^* = \frac{1 - x_{31}^* - x_{13}^*}{3}, \end{array} \right. \Leftrightarrow \left\{ \begin{array}{l} x_1^* = \frac{17}{35}, \\ x_2^* = \frac{12}{35}, \\ x_3^* = \frac{17}{35}, \\ x_{31}^* = \frac{1}{5}, \\ x_{13}^* = \frac{1}{5}, \\ x_{132}^* = \frac{1}{5}. \end{array} \right.$$

Таким образом, действия реальных агентов в ситуации информационного равновесия будут следующими: $x_1^* = x_3^* = 17/35$, $x_2^* = 12/35$. •

Завершив описание графа рефлексивной игры, продолжим исследование свойств информационного равновесия.

3.5. РЕГУЛЯРНЫЕ СТРУКТУРЫ ИНФОРМИРОВАННОСТИ

В разделе 3.2 было введено понятие структуры информированности – бесконечного дерева, отражающего иерархию представлений агентов в рефлексивной игре. В разделе 3.3 показано, что информационное равновесие (как решение рефлексивной игры) существует в случае, если структура информированности конечна. Конечность информационной структуры по своему определению означает не конечность ее дерева, а существование конечного базиса, в рамках которого рассмотрение фантомных агентов, имеющих ту же информированность, что и другие реальные или фантомные агенты, не дает новой информации и поэтому нецелесообразно. Если априори имеется (например, построено исходя из содержательных соображений) конечное дерево, отражающее несколько первых уровней представлений агентов, то в общем случае нельзя однозначно сказать какой бесконечной информационной структуре оно соответствует. Другими словами, может суще-

ствовать множество информационных структур, любое конечное число верхних уровней которых совпадает. Поэтому для определения информационного равновесия по конечному дереву представлений агентов необходимо введение дополнительных предположений. Например, можно постулировать, что каждый фантомный агент, соответствующий нижнему уровню конечного дерева представлений, при определении своего действия считает, что агент, соответствующий предыдущему уровню иерархии, адекватно информирован о нем (см. предположения Π_m в [62] и субъективные Байесовы равновесия в [139]).

В настоящем разделе рассматриваются регулярные структуры информированности, обладающие, в частности, тем свойством, что, если задано конечное дерево представлений и известно, что информационная структура регулярна, то информационное равновесие определяется однозначно. Кроме того, для регулярных структур информированности удастся: получить конструктивные условия существования информационного равновесия, исследовать зависимость информационного равновесия от структуры информированности (раздел 3.6), поставить и решить задачу рефлексивного управления (раздел 3.7).

Как отмечалось выше, понятие структуры информированности является довольно общим и объемлет, в том числе, случаи, содержательная интерпретация которых представляется затруднительной. Поэтому введем в рассмотрение класс *регулярных структур информированности*, который, с одной стороны, является достаточно широким и охватывает множество реальных ситуаций, а с другой – легко описывается. Для задания этих структур введем вспомогательное понятие *регулярного конечного дерева* (РКД), которое определим рекуррентно.

Пусть в игре участвуют n агентов. Если (в простейшем случае) все агенты одинаково информированы, то структура информированности имеет сложность n и единичную глубину. Будем изображать эту ситуацию в виде дерева, состоящего из корневой вершины, n ребер и n висячих вершин. На рис. 3.13 изображено такое дерево для случая трех агентов (здесь и далее будем для большей наглядности отмечать в вершинах дерева вместо θ_1 , θ_2 , θ_{12} и т.д. просто 1, 2, 12 и т.д.).

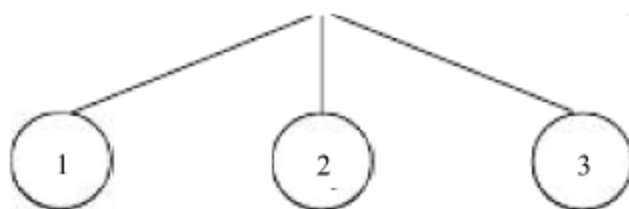


Рис. 3.13. Регулярное конечное дерево

Данному РКД соответствует граф рефлексивной игры, приведенный на рис. 3.14.

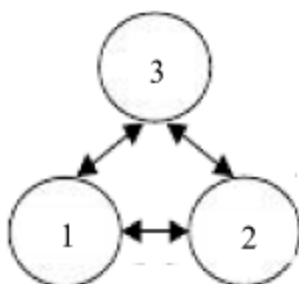


Рис.3.14. Граф рефлексивной игры для РКД, приведенного на рисунке 13

Далее РКД может «расти» следующим образом: к каждой висячей вершине πi , $\tau \in \Sigma$, присоединяется ровно $(n - 1)$ ребро, при этом возникает $(n - 1)$ висячая вершина πij , $j = 1, \dots, i - 1, i + 1, \dots, n$. Построенное РКД будем интерпретировать так: если имеется висячая вершина πi , $\tau \in \Sigma$, то πi -агент одинаково информирован с τ -агентом (если τ – пустая последовательность, то πi -агент является реальным, и его субъективные представления совпадают с объективными).

В качестве примеров регулярных структур информированности приведем все возможные (с точностью до перенумерации агентов) структуры глубины 2. Начнем с РКД, изображенного на рис. 3.15.

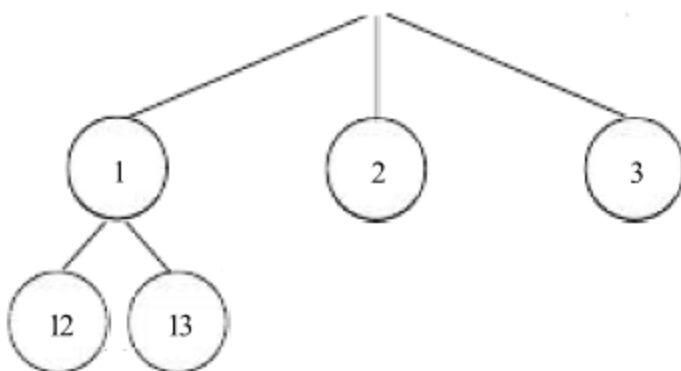


Рис. 3.15. Пример РКД глубины 2

Если $\theta_{12} = \theta_2$ и $\theta_{13} = \theta_3$, то опять получаем граф, приведенный на рисунке 14. Если же хотя бы одно из этих равенств нарушено, получается граф рефлексивной игры, изображенный на рис. 3.16.

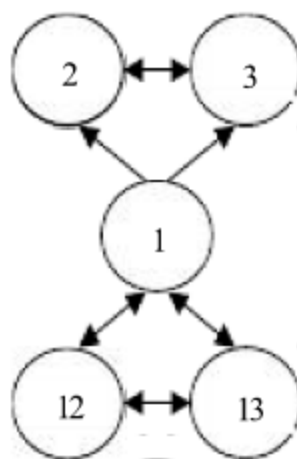


Рис. 3.16. Граф рефлексивной игры для РКД, приведенного на рисунке 15

Следующий случай РКД изображен на рис. 3.17.

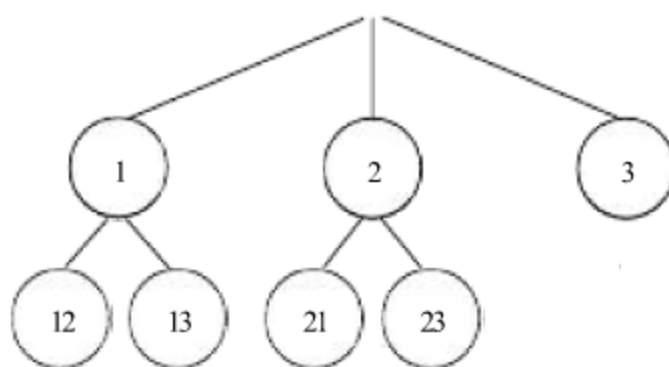


Рис. 3.17. Пример РКД глубины 2

Здесь возможны два варианта графов рефлексивной игры, не сводимых к предыдущим – см. рис. 3.18 и 3.19.

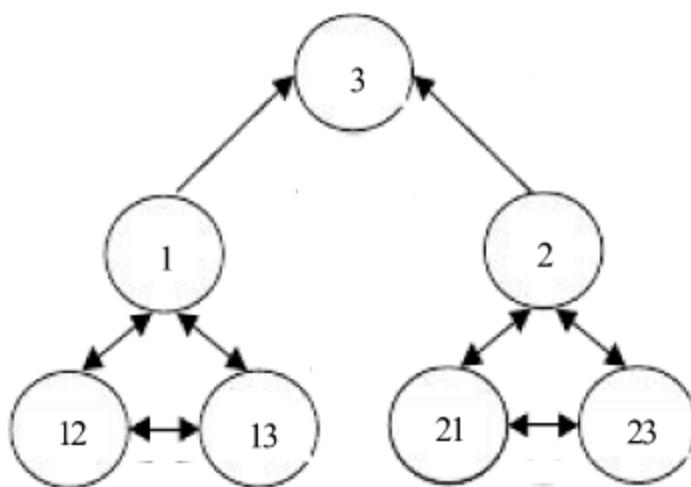


Рис. 3.18. Граф рефлексивной игры для РКД, приведенного на рисунке 17

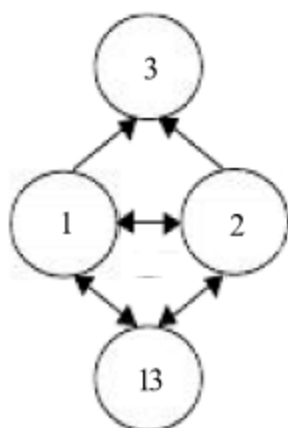


Рис. 3.19. Граф рефлексивной игры для РКД, приведенного на рисунке 17

Наконец, последний случай РКД изображен на рис. 3.20.

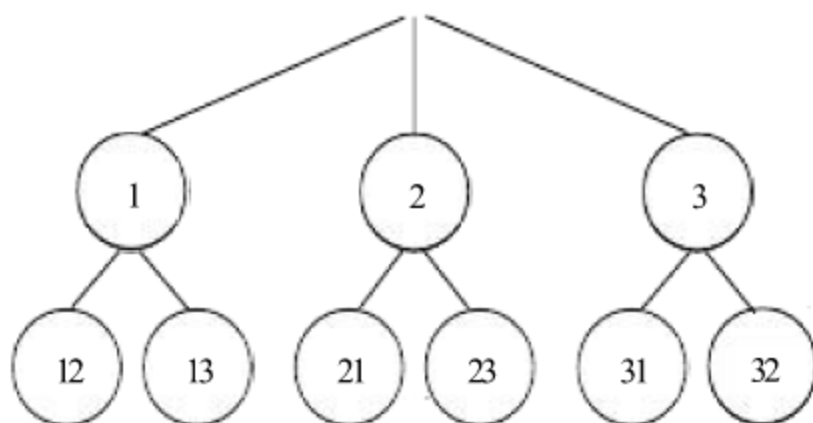


Рис. 3.20. Пример РКД глубины 2

Этому случаю соответствуют три варианта графов рефлексивной игры, не сводимых к предыдущим – см. рис. 3.21, 3.22 и 3.23. Как видим, графы на рис. 3.21 и 3.22 являются несвязными.

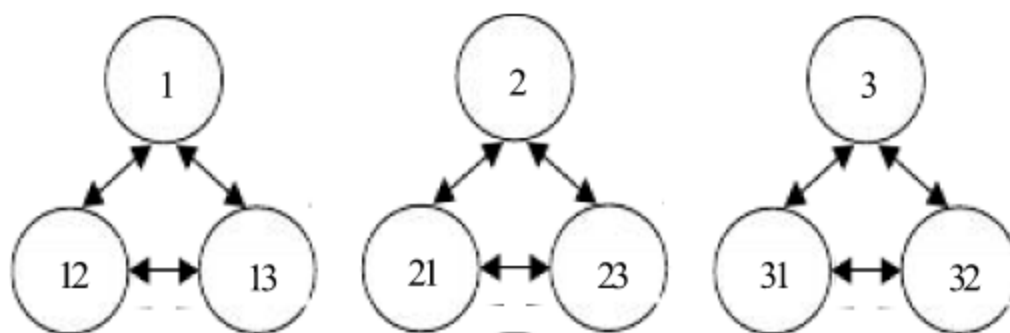


Рис. 3.21. Граф рефлексивной игры для РКД, приведенного на рис. 3.20

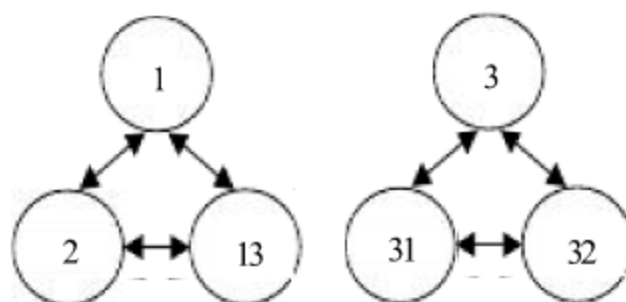


Рис. 3.22. Граф рефлексивной игры для РКД, приведенного на рис. 3.20

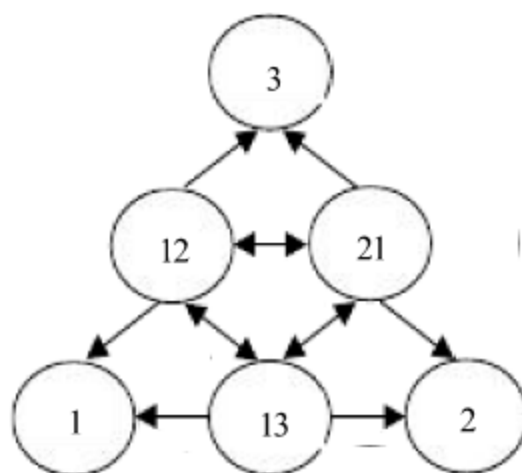


Рис. 23. Граф рефлексивной игры для РКД, приведенного на рис. 3.20

Содержательная интерпретация каждой из возможных структур информированности глубины не более двух (см. рис. 3.14, 3.16, 3.18, 3.19, 3.21-3.23) не вызывает затруднений. Остановимся на трех симметричных структурах (см. рис. 3.14, 3.21 и 3.23).

Рис. 3.14 соответствует, как отмечалось выше, одинаковой информированности агентов. Их рефлексивные реальности совпадают. Можно сказать, агенты играют в одну игру, правила которой являются общим знанием.

Рис. 3.21 соответствует в некотором смысле противоположной ситуации. У агентов искаженные и попарно несогласованные представления друг о друге. Каждый из них считает, что все одинаково информированы, но все агенты заблуждаются. На самом деле каждый играет в свою игру.

Рис. 3.23 соответствует ситуации, когда каждый агент считает себя более информированным, чем остальные. Например: агенты провели переговоры, сообщив друг другу свои представления о неизвестном параметре, однако все трое скрыли свои истинные представления, считая при этом, что остальные двое были прав-

дивы и поверили своим оппонентам. Возможна и несколько иная интерпретация того же рис. 3.23: агенты заключили договор, но каждый собирается его нарушить, считая при этом, что оппоненты считают договор стабильным – не собираются его нарушать, не ждут этого от оппонентов и т.д.

Описанные в настоящем разделе свойства регулярных информационных структур будут использованы ниже при исследовании задач рефлексивного управления (см. раздел 3.7).

Рассмотрим в заключение настоящего раздела вопрос о существовании информационного равновесия для регулярных структур информированности.

Из построения РКД видно, что равновесные действия агентов (если они существуют) могут быть найдены «снизу вверх», то есть от висячих вершин к корню РКД. Пусть, например, для некоторого $\tau \in \Sigma_+$ висячими являются $(n-1)$ вершин $\pi ij, j \in N \setminus \{i\}$. Тогда, по определению РКД, n агентов из множества $\{\pi ij\}, j \in N$, являются одинаково информированными (напомним, что в силу аксиомы автоинформированности (см. раздел 3.2) мы отождествляем πi - и πii -агентов). Поэтому для их равновесных действий справедливы соотношения $x_{\pi jk}^* = x_{\pi ik}^*, j, k \in N$,

$$x_{\pi ij}^* \in \text{Arg max}_{x_{\pi ij} \in X_i} f_j(\theta_{\pi ij}, x_{\pi i1}^*, \dots, x_{\pi i, j-1}^*, x_{\pi ij}^*, x_{\pi i, j+1}^*, \dots, x_{\pi in}^*), j \in N. \quad (3.44)$$

Отметим, что остальные агенты находятся «вне поля зрения» рассматриваемых нами n агентов $\{\pi ij\}, j \in N$.

Система (3.44) является записью «обычного» равновесия Нэша в игре с общим знанием. Если она имеет решение, из нее, в частности, можно найти действие πi -агента.

Далее, рассмотрим вершину $\tau, \tau \in \Sigma_+$, и вершины $\pi m, m \in N \setminus \{\omega(\tau)\}$, (напомним, что $\omega(\tau)$ – последний индекс в последовательности τ), среди которых находится и вершина πi . Все πm -агенты делятся на два множества: одинаково информированные с τ -агентом и прочие (к последним относится и πi -агент). Чтобы удобнее было их разделять, введем обозначение: $\overline{N}_\tau = \{k \in N \mid I_{\tau k} \sim I_\tau\}$.

Как мы видели, равновесное действие πi -агента (и, аналогично, действия всех πm -агентов, $m \notin \overline{N}_\tau$) определяется независимо от действия прочих πm -агентов, $m \in N$. Поэтому все τk -агенты, $k \in \overline{N}_\tau$,

могут просто подставить действия x_m^* , $m \notin \overline{N}_\tau$, в свои целевые функции. Таким образом, для вычисления равновесных действий x_k^* , $k \in \overline{N}_\tau$ надо решить систему уравнений

$$x_{\tau k}^* = \arg \max_{x_{\tau k} \in X_k} f_k(\theta_{\tau k}, x_{\tau 1}^*, \dots, x_{\tau, k-1}^*, x_{\tau k}, x_{\tau, k+1}^*, \dots, x_{\tau n}^*), k \in \overline{N}_\tau. \quad (3.45)$$

Система (3.45) является записью равновесия Нэша в игре τk -агентов, $k \in \overline{N}_\tau$. Ее решение (если оно существует), позволяет найти равновесное действие x_τ^* .

Двигаясь от висячих вершин к корню, можно последовательно найти все равновесные действия. Для этого все системы типа (3.44) и (3.45) должны иметь решение. Таким образом, можно сформулировать следующее достаточное условие существования информационного равновесия для регулярных структур информированности (множество реальных агентов N , их целевые функции $\{f_i\}$, множества допустимых действий $\{X_i\}$, а также множество возможных значений Ω неопределенного параметра считаем фиксированными).

Утверждение 12. Пусть для любого непустого множества $\overline{N} \subseteq N$ справедлив следующий факт: для любых $\theta_k \in \Omega$, $k \in \overline{N}$, и любых $x_m^* \in X_m$, $m \notin \overline{N}$, существует равновесие Нэша в игре с общим знанием k -агентов, то есть существуют x_k^* , $k \in \overline{N}$, удовлетворяющие

$$x_k^* \in \text{Arg} \max_{x_k \in X_k} f_k(\theta_k, x_1^*, \dots, x_{k-1}^*, x_k, x_{k+1}^*, \dots, x_n^*), \overline{k} \in \overline{N}.$$

Тогда для любой конечной структуры информированности существует информационное равновесие.

Имея язык описания информированности агентов (информационную структуру – см. раздел 3.2), определение решения рефлексивной игры (информационное равновесие – см. раздел 3.3), а также свойства графа рефлексивной игры (раздел 3.4) и регулярных структур информированности (настоящий раздел), мы имеем возможность перейти к исследованию влияния информированности агентов (и, в первую очередь, рангов их рефлексии) на информационное равновесие, и, следовательно, на их выигрыши, что, в свою очередь, позволит изучить задачи рефлексивного управления.

3.6. РАНГ РЕФЛЕКСИИ И ИНФОРМАЦИОННОЕ РАВНОВЕСИЕ

Напомним, что в разделе 1.2 было определено параметрическое равновесие Нэша, в котором вектор равновесных действий зависел от значения состояния природы, которое являлось общим знанием. В разделе 3.3 было введено понятие информационного равновесия как субъективного равновесия, зависящего от структуры информированности $I = (I_1, I_2, \dots, I_n)$, где I_i – структура информированности i -го агента, $i \in N$.

Обозначим $x_i^*(I_i)$ – множество субъективно равновесных действий³² i -го агента, имеющего структуру информированности I_i , $i \in N$, $x^*(I_i)$ – соответствующие множество векторов субъективно равновесных действий. Введем Ψ_i – множество всевозможных структур информированности i -го агента³³, $\psi_i^{k_i}$ – множество всевозможных конечных (глубины не более k_i) структур информированности i -го агента, $i \in N$. В соответствии с определением, приведенным выше, будем считать, что агент, имеющий конечную структуру информированности глубины k , обладает рангом информационной рефлексии, равным $k - 1$. Если информационные структуры всех агентов конечны, то глубина $\chi(I)$ информационной структуры I также конечна и равна

$$\chi(I) = 1 + \max_{i \in N} \{k_i\}.$$

Определим множество

$$X_i^*(\Psi) = \bigcup_{I_i \in \Psi} x_i^*(I_i), \quad (3.46)$$

где $\Psi \subseteq \Psi_i$, тех действий i -го агента, которые могут быть субъективно равновесными при условии, что его информационные структуры принадлежат множеству Ψ , $i \in N$, и множество субъек-

³² Напомним, что под субъективно равновесным действием агента понимается соответствующая его информированности компонента информационного равновесия.

³³ Так как элементами информационной структуры являются значения состояния природы, то множество всевозможных структур информированности зависит от множества Ω возможных значений состояния природы. Помня об этом, отражать зависимость в явном виде мы не будем.

тивных равновесий при всевозможных информационных структурах из множества Ψ :

$$X^*(\Psi) = \bigcup_{I \in \Psi} x^*(I). \quad (3.47)$$

Так как при фиксированном множестве Ω возможных значений состояний природы выполнено $\psi_i^{k_i} \subseteq \psi_i^{k_i+1}$, $k_i \in \aleph$, $i \in N$, то с увеличением глубины структуры информированности множество возможных субъективных равновесий не сужается.

Таким образом, известны зависимости (3.46) и (3.47) множеств потенциальных равновесий от множества возможных информационных структур. При бесконечных информационных структурах i -го агента $I_i \in \Psi_i$ множество возможных субъективных равновесий составляет $X^*(\Psi_i) = \bigcup_{I_i \in \Psi_i} x^*(I_i)$, $i \in N$. Возникает

вопрос – существует ли множество конечных информационных структур (и какова глубина этих структур), дающих для данного агента то же множество возможных субъективных равновесий? Сформулируем соответствующую задачу.

Пусть целевые функции и допустимые множества всех агентов,³⁴ а также множество возможных значений состояний природы фиксированы и являются общим знанием. Тогда *задачей о максимальном целесообразном объективном ранге информационной рефлексии* назовем задачу нахождения:

$$k_i^* = \min \{k_i \in \aleph \mid X^*(\Psi_i) = X^*(\Psi_i^{k_i})\}, i \in N. \quad (3.48)$$

Отметим, что задача (3.48) формулируется с точки зрения исследователя операций, и его интересует минимальный ранг рефлексии, при котором любое действие данного агента, являющееся субъективным равновесием при одной из допустимых его информационных структур, также является субъективным равновесием в одной из информационных структур, глубина которой превышает искомый ранг рефлексии не более, чем на единицу. Этим обусловлено использование термина «объективный». Альтернативой является занятие позиции самого агента и сравнение его выигрышей (гарантированных значений целевой функции) при различных рангах рефлексии. Сформулируем соответствующую задачу.

³⁴ По умолчанию будем предполагать, что целевые функции непрерывны, а допустимые множества компактны.

Прежде всего, определим, что понимать под выигрышем агента. Обозначим классический МГР i -го агента³⁵

$$v_i = \max_{x_i \in X_i} \min_{x_{-i} \in X_{-i}} \min_{\theta_i \in \Omega} f_i(\theta_i, x_i, x_{-i}), i \in N, \quad (3.49)$$

и введем субъективный МГР i -го агента по множеству всех субъективных равновесий при всевозможных информационных структурах из множества $\Psi \subseteq \Psi_i$:

$$v_i^s(\Psi) = \min_{y \in X^*(\Psi)} f_i(\theta_i, x), i \in N. \quad (3.50)$$

Из (3.47), (3.49) и (3.50) следует, что $v_i^s(\varphi) \geq v_i, \varphi \subseteq \Psi_i, i \in N$.

Пусть целевые функции и допустимые множества всех агентов, а также множество возможных значений состояний природы фиксированы и являются общим знанием. *Задачей о максимальном целесообразном i -субъективном ранге информационной рефлексии* назовем задачу нахождения:

$$s_i^* = \min \{s_i \in N \mid v_i^s(\Psi_i) = v_i^s(\Psi_i^{s_i})\}, i \in N. \quad (3.51)$$

Выражение (3.51) означает, что требуется найти такой минимальный ранг информационной рефлексии агента, что при любом большем ранге рефлексии не найдется информационного равновесия, дающего ему строго меньший выигрыш.

Из (3.48), (3.50) и (3.51), а также из установленной выше монотонности множеств субъективных равновесий по глубине информационных структур следует справедливость следующего утверждения.

Утверждение 13. $s_i^* \leq k_i^*, i \in N$.

Утверждение 13 гласит, что, если под выигрышем агента понимать гарантированное по множеству всевозможных субъективных равновесий значение его целевой функции, то максимальный целесообразный субъективный ранг информационной рефлексии любого агента не превосходит максимального целесообразного объективного ранга его информационной рефлексии. Другими словами, если существует ранг информационной рефлексии, «исчерпывающий» множество субъективных равновесий, то он является оценкой сверху максимальной глубины структуры информированности, которая целесообразна с точки зрения рассматриваемого агента.

³⁵ Будем считать, что множество информационных структур Ψ таково, что $\theta_i \in \Omega, i \in N$.

В соответствии с утверждением 13 имеет смысл рассматривать задачу (3.48), однако получение ее решения в общем случае затруднительно. Поэтому проанализируем частный случай рефлексивной игры двух лиц (по аналогии результаты могут быть распространены на случай любого конечного числа агентов) с регулярной информационной структурой.

Рассмотрим РКД и соответствующие графы рефлексивной игры. Напомним, что на нижних уровнях РКД возникает субъективное общее знание (субъективный - *common knowledge*). То есть в рефлексивной игре, структура информированности которой является регулярной, агенты двух нижних уровней могут иметь как одинаковые представления о неопределенных параметрах, (назовем этом случай *симметричным общим знанием на нижнем уровне*), так и неодинаковые (назовем этом случай *несимметричным общим знанием на нижнем уровне*).

Обозначим «классическое» равновесие Нэша игры двух агентов, в котором информация о значениях $\theta_1, \theta_2 \in \Omega$ является общим знанием

$$\begin{aligned} E_N(\theta_1, \theta_2) = \{ & (x_1(\theta_1, \theta_2), x_2(\theta_1, \theta_2)) \in X' \mid \\ \forall y_1 \in X_1 & f_1(\theta_1, x_1(\theta_1, \theta_2), x_2(\theta_1, \theta_2)) \geq f_1(\theta_1, y_1, x_2(\theta_1, \theta_2)) \\ \forall y_2 \in X_2 & f_2(\theta_2, x_1(\theta_1, \theta_2), x_2(\theta_1, \theta_2)) \geq f_2(\theta_2, x_1(\theta_1, \theta_2), y_2) \}. \end{aligned} \quad (3.52)$$

Введем множество наилучших ответов i -го агента на выбор оппонентом действий из множества X_i при множестве Ω возможных состояний природы:

$$BR_i(\Omega, X_i) = \bigcup_{x_{-i} \in X_{-i}, \theta \in \Omega} \text{Arg max}_{x_i \in X_i} f_i(\theta, x_i, x_{-i}), \quad i = 1, 2,$$

а также следующие величины и множества

$$E_N = \bigcup_{\theta_1, \theta_2 \in \Omega} E_N(\theta_1, \theta_2), \quad E_N^0 = \bigcup_{\theta \in \Omega} E_N(\theta, \theta), \quad (3.53)$$

$$X_i^0 = \bigcup_{\theta_1, \theta_2 \in \Omega} x_i(\theta_1, \theta_2) = \text{Proj}_i E_N, \quad i = 1, 2, \quad (3.54)$$

$$X_i^k = BR_i(\Omega, X_i^{k-1}), \quad k = 1, 2, \dots, i = 1, 2. \quad (3.55)$$

Отображение $BR_i(\Omega, X_i): \Omega \times X_i \rightarrow X_i$ назовем *рефлексивным отображением* i -го агента, $i = 1, 2$.

Свойства введенных множеств описываются следующим утверждением, истинность которого следует из определений (3.52)-(3.55).

Утверждение 14. $E_N^0 \subseteq E_N, X_i^k \subseteq X_i^{k+1}, k = 0, 1, \dots, i = 1, 2$.

Исследуем рефлексивную игру двух агентов с конечной³⁶ и регулярной структурой информированности.

Рефлексивное отображение i -го агента назовем *стационарным*, если $X_i^k = X_i^{k+1}$, $k = 0, 1, \dots$, $i = 1, 2$.

Рассмотрим i -го агента, $i = 1, 2$, и исследуем его субъективные равновесия при различных рангах информационной рефлексии, увеличивая их последовательно, начиная с нулевого (еще раз напомним, что ранг информационной рефлексии на единицу меньше глубины соответствующей информационной структуры).

При фиксированной глубине регулярной информационной структуры I_i граф рефлексивной игры может быть построен двумя способами. Во-первых, можно ввести предположение, что на нижнем уровне имеет место несимметричное общее знание. Во-вторых, можно ввести предположение, что на нижнем уровне имеет место симметричное общее знание, то есть ввести «дополнительного» фантомного агента, наделив его той же информацией, что обладает агент, соответствующий нижнему уровню дерева I_i . Будем рассматривать параллельно оба случая.

1. Если глубина структуры ψ_i^1 информированности i -го агента, $i = 1, 2$, равна $k_i = 1$ (имеется только θ_i), то соответствующий граф рефлексивной игры имеет вид: $x_i \leftrightarrow x_{ij}$ (здесь и далее $j \neq i$). То есть реальный i -й агент разыгрывает игру с фантомным ij -м агентом, причем оба они с точки зрения i -го агента обладают информацией θ_i (симметричное общее знание на нижнем уровне). Следовательно, $X^*(\psi_i^1) = E_N^0$.

2. Если глубина структуры информированности ψ_i^2 i -го агента равна $k_i = 2$ (имеются θ_i, θ_{ij}), то возможны два варианта.³⁷

В первом случае соответствующий граф рефлексивной игры имеет вид: $x_i \leftrightarrow x_{ij}$ (несимметричное общее знание на нижнем уровне). То есть реальный i -й агент (полагающий, что состояние

³⁶ Требование конечности информационной структуры представляется вполне естественным: как отмечалось выше, возможности человека по переработке информации ограничены, тем более, что глубина структуры информированности может быть ограничена любым (достаточно большим, но конечным) числом.

³⁷ Рассматриваемые для каждого ранга рефлексии два случая соответствуют «симметричному» и «несимметричному» (субъективному) общему знанию.

природы равно θ_i) считает, что разыгрывает игру с фантомным ij -м агентом, который обладает информацией θ_{ij} . С точки зрения i -го агента множество возможных равновесий игры равно $E_N \supseteq X^*(\psi_i^1)$. Во втором случае (симметричное общее знание на нижнем уровне) соответствующий граф рефлексивной игры имеет вид: $x_i \leftarrow x_{ij} \leftrightarrow x_{iji}$. То есть реальный i -й агент (полагающий, что состояние природы равно θ_i) считает, что разыгрывает игру с фантомным ij -м агентом, который, в свою очередь, разыгрывает игру с фантомным iji -м агентом, причем оба они с точки зрения i -го агента обладают информацией θ_{ij} . С точки зрения i -го агента множество возможных равновесий игры ij -го и iji -го агентов равно E_N^0 , следовательно, ij -й агент может (опять же с точки зрения i -го) выбрать одно из действий из множества $Proj_j E_N^0$. Таким образом,

$$X^*(\psi_i^2) = BR_i(\Omega, Proj_j E_N^0) \times Proj_j E_N^0 \subseteq X_i^1 \times X_j^0. \quad (3.56)$$

Так как $E_N \subseteq X_i^0 \times X_j^0$, то $X^*(\psi_i^1) \subseteq X^*(\psi_i^2)$, то есть увеличение ранга рефлексии с нуля до единицы с точки зрения задачи (3.48) для i -го агента целесообразно.

3. Если глубина структуры информированности ψ_i^3 i -го агента равна $k_i = 3$ (имеются $\theta_i, \theta_{ij}, \theta_{iji}$), то возможны два варианта.

В первом случае (несимметричное общее знание на нижнем уровне) соответствующий граф рефлексивной игры имеет вид: $x_i \leftarrow x_{ij} \leftrightarrow x_{iji}$, то есть реальный i -й агент (полагающий, что состояние природы равно θ_i) считает, что разыгрывает игру с фантомным ij -м агентом (полагающим, что состояние природы равно θ_{ij}), который, в свою очередь, разыгрывает игру с фантомным iji -м агентом (обладающим информацией θ_{iji}). С точки зрения i -го агента множество возможных равновесий игры ij -го и iji -го агентов равно E_N , следовательно

$$X^*(\psi_i^3) = BR_i(\Omega, X_j^0) \times X_j^0 = X_i^1 \times X_j^0.$$

Во втором случае (симметричное общее знание на нижнем уровне) соответствующий граф рефлексивной игры имеет вид: $x_i \leftarrow x_{ij} \leftarrow x_{iji} \leftrightarrow x_{ijij}$. То есть реальный i -й агент (полагающий, что состояние природы равно θ_i) считает, что разыгрывает игру с фантомным ij -м агентом (полагающим, что состояние природы равно θ_{ij}), который, в свою очередь, разыгрывает игру с фантом-

ным iji -м агентом, который, в свою очередь, разыгрывает игру с фантомным $ijij$ -м агентом, причем оба они с точки зрения i -го агента обладают информацией θ_{iji} . С точки зрения i -го агента множество возможных равновесий игры iji -го и $ijij$ -го агентов равно $E_N^0 \subseteq X_i^0 \times X_j^0$, следовательно, iji -й агент может (с точки зрения i -го) выбрать одно из действий из множества $Proj_i E_N^0$. Тогда ij -й агент может (опять же с точки зрения i -го) выбрать одно из действий из множества $BR_j(\Omega, Proj_i E_N^0)$. Таким образом,

$$X^*(\psi_i^3) = BR_i(\Omega, BR_j(\Omega, Proj_i E_N^0)) \times BR_j(\Omega, Proj_i E_N^0) \subseteq X_i^2 \times X_j^1.$$

Так как $X^*(\psi_i^2) \subseteq X^*(\psi_i^3)$, то увеличение ранга рефлексии с единицы до двух с точки зрения задачи (3.48) целесообразно для i -го агента.

По аналогии, легко показать, что при несимметричном (Asymmetric) общем знании на нижнем уровне множество субъективных равновесий i -го агента равно

$$AX_i^*(\Psi_i^{k_i}) = X_i^{k_i-2}, k_i = 2, 3, \dots, \quad (3.57)$$

а при симметричном (Symmetric) общем знании на нижнем уровне множество субъективных равновесий i -го агента равно

$$SX_i^*(\Psi_i^{k_i}) = BR_i(\Omega, \dots BR_j(\Omega, Proj_i \dots), \dots), k_i = 2, 3, \dots. \quad (3.58)$$

Так как $SY_i^*(\Psi_i^{k_i}) \subseteq X_i^{k_i-1} \subseteq X_i^{k_i}$, то справедливо следующее утверждение 15, из которого следует, что, увеличивая глубину структуры информированности (на единицу), любое субъективное равновесие, полученное в рамках симметричного общего знания на нижнем уровне, можно сделать субъективным равновесием в рамках несимметричного общего знания на нижнем уровне.

Утверждение 15. $SX_i^*(\Psi_i^{k_i}) \subseteq AY_i^*(\Psi_i^{k_i+1})$, $k_i = 2, 3, \dots$.

Из утверждения 15 и определения стационарности рефлексивного отображения следует, что для рефлексивных игр двух лиц с регулярной информационной структурой независимо то того, симметричное или асимметричное общее знание имеется на нижнем уровне, следует справедливость следующего утверждения.

Утверждение 16. Если рефлексивные отображения агентов стационарны, то максимальный целесообразный субъективный ранг информационной рефлексии равен двум и $X_i^*(\Psi) = X_i^0$, $i = 1, 2$.

Результат утверждения 16 позволяет в случае стационарных рефлексивных отображений рассматривать рефлексивное управление как *информационное регулирование*, при котором объектом управления являются представления агентов о неопределенных параметрах [19, 62]. В общем случае возможны три варианта:

1) Если рефлексивные отображения стационарны, то множество субъективных равновесий есть $\prod_{i \in N} X_i^0 \subseteq X'$, то есть является подмножеством (быть может, собственным – см. пример 11) множества X' допустимых действий агентов;

2) Если рефлексивные отображения не стационарны, то множество субъективных равновесий может совпадать с множеством X' допустимых действий агентов – см. пример 12;

3) Если рефлексивные отображения не стационарны, то множество субъективных равновесий может быть строго шире $\prod_{i \in N} X_i^0$, но не совпадать (быть уже) с множеством X' допустимых действий агентов – см. пример 13;

Пример 11. Пусть $f_i(\theta, \theta) = x_i - x_i^2 / 2 (\theta + \alpha x_i)$, где $\alpha \in (0; 1)$, $i = 1, 2$, $\Omega = [0; 1]$. Тогда $BR_i(\theta_i, x_j) = \theta_i + \alpha x_j, j \neq i, i, j = 1, 2$.

Вычислим равновесие Нэша: $x_i^*(\theta_i, \theta_j) = (\theta_i + \alpha \theta_j) / (1 - \alpha^2)$, $j \neq i, i, j = 1, 2$. Определим $X_i^0 = [0; 1 / (1 - \alpha)]$, $i = 1, 2$. Легко проверить, что рефлексивное отображение в рассматриваемом примере является стационарным, то есть $X_i^k = X_i^0, k = 1, 2, \dots, i = 1, 2$ – см. рис. 3.24.

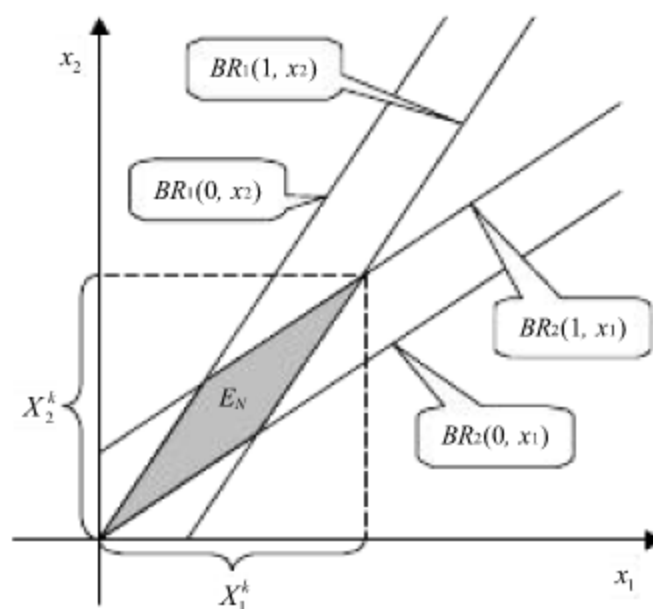


Рис. 3.24. Множество субъективных равновесий в примере 11

Изменяя θ_i и θ_j , то есть, осуществляя информационное регулирование, центр может реализовать как субъективное равновесие любую точку из множества $[0; 1 / (1 - \alpha)]^2$. •

В общем случае (при нестационарных рефлексивных отображениях) с увеличением глубины структуры информированности множество субъективных равновесий не сужается, поэтому из анализа теоретико-игровой модели нельзя априори ограничить максимальный целесообразный ранг рефлексии (см. обсуждение роли информационных ограничений в разделе 2.3) агентов. Приведем пример.

Пример 12. Пусть $f_1(\theta, x_1, x_2) = \theta(1 - x_2)x_1 - x_1^2/2$, $f_2(\theta, x_1, x_2) = \theta x_1 x_2 - x_2^2/2$, где $\Omega = [1/2; 1]$, $X_1 = X_2 = (0; 1)$. Тогда $BR_1(\theta, x_2) = \theta(1 - x_2)$, $BR_2(\theta, x_1) = \theta x_1$.

Легко проверить, что множеством E_N является четырехугольник с вершинами $(2/5, 1/5)$, $(2/3, 1/3)$, $(1/2, 1/2)$ и $(1/3, 1/3)$, поэтому $X_1^0 = [1/3; 2/3]$, $X_2^0 = [1/5; 1/2]$ (см. рис. 3.25).

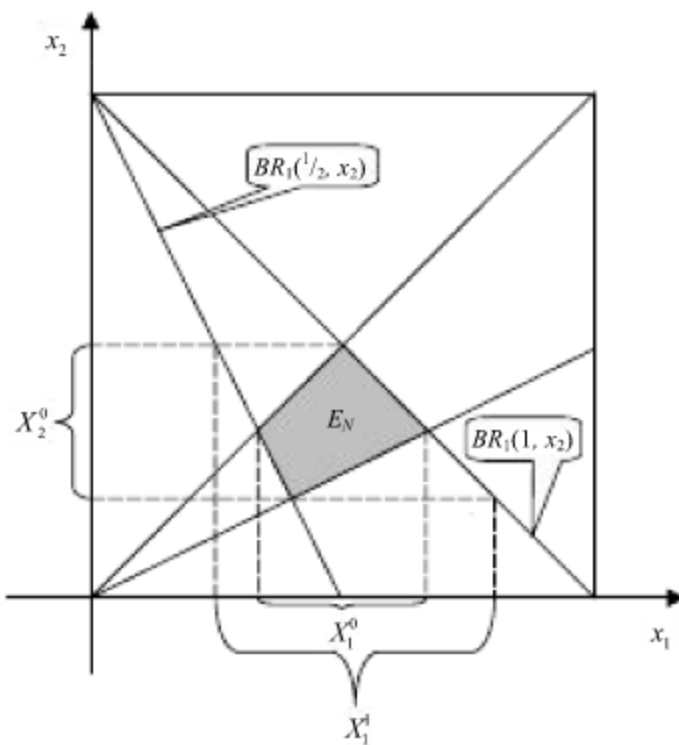


Рис. 3.25. Множество субъективных равновесий в примере 12

Обозначим левую и правую границы отрезка X_i^k за $\alpha_{i,k}$ и $\beta_{i,k}$ соответственно, $i = 1, 2$. Тогда имеем следующие соотношения: $\alpha_{2,k+1} = 1/2 \alpha_{1,k}$, $\beta_{2,k+1} = \beta_{1,k}$, $\alpha_{1,k+1} = 1/2 (1 - \beta_{2,k})$, $\alpha_{1,k}$, $\beta_{1,k+1} = 1 - \alpha_{2,k}$, где $k = 0, 1, \dots$. Из последних соотношений нетрудно вывести следующие: $\alpha_{i,k+4} = 1/4 \alpha_{i,k}$, $\beta_{i,k+4} = 3/4 + 1/4 \beta_{i,k}$, $i = 1, 2$, $k = 0, 1, \dots$.

Таким образом, $\alpha_{i,k} \rightarrow 0$, $\beta_{i,k} \rightarrow 1$ при $k \rightarrow \infty$, где $i = 1, 2$. Поэтому $\bigcup_{k \geq 0} X_i^k = (0; 1) = X_i$, $i = 1, 2$. Это означает, что, надлежащим образом увеличив глубину рефлексии агента, можно добиться любого его допустимого действия. •

Примеры 11 и 12 показывают, что множество субъективно равновесных действий i -агента (при всевозможных его структурах информированности) $\bigcup_{k \geq 0} X_i^k$ может как совпадать с X_i^0 , то есть быть достаточно узким, так и совпадать с X_i , то есть быть максимально широким. Убедимся, что возможны и «промежуточные» варианты, то есть ситуации, в которых множество субъективных равновесий строго шире исходного множества E_N равновесий Нэша, но строго уже множества допустимых действий.

Пример 13. Пусть целевые функции агентов и множество Ω такие же, как и в предыдущем примере. Изменим лишь множества допустимых действий: $X_1 = X_2 = (-c; 1 + c)$, $c > 0$. Тогда по-прежнему $\bigcup_{k \geq 0} X_i^k = (0; 1)$, $i = 1, 2$, но теперь $(0; 1) \subset X_i$.

Так как множества субъективных равновесий монотонны по рангу рефлексии (глубине информационной структуры) – см. утверждение 14, то перспективными задачами исследований являются:

1. Поиск минимального ранга рефлексии, при котором «исчерпывается» множество субъективных равновесий (задача (3.48));
2. Получение оценок скорости изменения (или сходимости) последовательности $\{X_i^k\}$;
3. Определение для заданного действия агента минимального ранга его информационной рефлексии, при котором данное действие может оказаться субъективным равновесием и т.д.

В заключение настоящего раздела отметим, что, по-видимому, существует определенная аналогия между рефлексивными играми и информационными расширениями игр [14, 39, 40], в том числе – метаиграми Н. Ховарда [117, 118]. В информационных расширениях игр предполагается, что существует упорядочение агентов, в рамках которого агент, принимающий решение о выбираемом действии, может рассчитывать на знание действий агентов, которые производят свой выбор раньше (в заданном

упорядочении) него. Такие игры – с фиксированной последовательностью ходов – называются *иерархическими играми* [18, 19, 34, 39]. В рамках этой модели доказано [39], что любой вектор действий, обеспечивающий агентам выигрыши не меньше соответствующих максиминов в исходной игре, может быть реализован как равновесие в некотором информационном расширении исходной игры. Для рефлексивных игр с РКД это, вообще говоря, не так – пример 11 показывает, что для некоторых случаев множество информационных равновесий остается достаточно узким. В то же время, «иерархичность» и «рефлексивность» игр не противоречат друг другу – например, иерархическая игра может быть рефлексивной. Синтез результатов исследования метаигр и рефлексивных игр представляется перспективной задачей будущих исследований.

Зная исследованную в настоящем разделе зависимость множества информационных равновесий от структуры информированности, можно ставить и решать задачу рефлексивного управления – управления информационной структурой и, следовательно, информационным равновесием.

ГЛАВА 4. ПРИКЛАДНЫЕ МОДЕЛИ РЕФЛЕКСИВНЫХ ИГР

Ниже рассматривается ряд прикладных моделей рефлексивных игр (скрытое управление, информационное управление через средства массовой информации, а также рефлексия в психологии и художественных произведениях), которые иллюстрируют приведенные выше общие модели принятия решений и игрового взаимодействия в условиях различной информированности. Объединяет эти модели то, что в них в большинстве случаев имеются два агента³⁸, ранг рефлексии которых в рамках принципа доверия (в соответствии с которым у реципиента информационного сообщения не возникает сомнений в истинности полученных сведений) равен нулю, единице или двойке. Многочисленные ссылки позволяют заинтересованному читателю получить подробную

³⁸ Несмотря на то, что во многих моделях один из агентов выступает в качестве центра (осуществляет информационное управление), информационное равновесие все равно имеет место – хотя бы как субъективное равновесие управляемого агента.

информацию о возможностях использования рассматриваемого подхода в различных прикладных задачах.³⁹

4.1. СКРЫТОЕ УПРАВЛЕНИЕ

В настоящее время известно значительное число работ [4, 11, 12, 16, 20, 23, 30, 69, 75, 90, 91 и др.], посвященных так называемому *скрытому управлению* людьми, под которым понимается замаскированное управляющее воздействие, не вызывающее возражений у управляемого субъекта. Частным случаем скрытого управления является манипулирование – «скрытое управление человеком против его воли, приносящее инициатору определенные преимущества» [91, С. 4]. Анализ существующих работ в этой области (основные выводы из этого анализа выделены ниже жирным шрифтом и используются в качестве предположений при построении модели) позволяет предложить рассматриваемую в настоящем разделе формальную *модель скрытого управления*, описываемого в терминах рефлексивных игр как разновидность рефлексивного управления.

Прежде всего отметим, что, во-первых, предметом воздействия при скрытом управлении является информация, используемая управляемым субъектом при принятии решений. Следовательно, в терминах системы классификаций, предложенной в [62], скрытое управление является информационным управлением.

Во-вторых, необходимо подчеркнуть, что в подавляющем большинстве известных ситуаций, в которых имеет место скрытое управление, взаимодействуют только два субъекта (быть может, коллективных). Значит, в первом приближении достаточно выделить управляющего субъекта, которого условно назовем *ак-*

³⁹ С другими прикладными моделями рефлексивных игр можно ознакомиться в следующих источниках: Новиков Д.А., Чхартишвили А.Г. Прикладные модели информационного управления. – М.: ИПУ РАН, 2003; Чхартишвили А.Г. Теоретико-игровые модели информационного управления. – М.: ПМСОФТ, 2004; Новиков Д.А. Математические модели формирования и функционирования команд. – М.: Издательство физико-математической литературы, 2008; Новиков Д.А. Теория управления организационными системами. 2-ое изд. – М.: Издательство физико-математической литературы, 2007.

тивным агентом, и управляемого субъекта, которого условно назовем *пассивным агентом*.

В-третьих, считается, что активный агент адекватно информирован о пассивном агенте, из чего вытекает, что он имеет возможность правильно прогнозировать поведение последнего в рамках любой информационной ситуации. Более того, во-первых, считается, что активному агенту известно истинное значение неопределенного параметра, а, во-вторых, пассивный агент в большинстве случаев считает, что активный агент адекватно информирован о нем (то, что пассивный агент 2-субъективно (то есть со своей точки зрения) адекватно информирован об активном агенте, следует из утверждения 7). Если активный агент имеет возможность изменять (воздействовать, модифицировать и т.д.) структуру информированности пассивного агента, то целью осуществляемого активным агентом рефлексивного управления является навязывание пассивному агенту такой информационной структуры, что принимаемое в ее рамках решение наиболее благоприятно для активного агента. То есть критерием эффективности информационного воздействия (скрытого управления) является значение выигрыша, полученного активным агентом.

Таким образом, скрытое управление может быть представлено в терминах рефлексивной игры следующим образом. Пусть имеются два агента (активный и пассивный), известны их целевые функции и множества допустимых действий. Структура информированности такова, что активный агент адекватно информирован о пассивном агенте, ему известно истинное значение неопределенного параметра, а пассивный агент, если не оговорено особо, считает, что активный агент адекватно информирован о нем.

Предположим, что задано множество допустимых структур информированности пассивного агента. *Задача синтеза оптимального* (с точки зрения активного агента) *информационного воздействия* (точнее – воздействия на информированность) заключается в нахождении такой допустимой информационной структуры пассивного агента (напомним, что тем самым в соответствии с введенными предположениями информационная структура активного агента фиксирована), что соответствующее ей информационное равновесие наиболее выгодно активному агенту (обеспечивает максимальное значение его целевой функции).

Чрезвычайно важным и значительно упрощающим модель является тот факт, что во всех известных нам моделях скрытого управления ранг рефлексии не превышает двух (то есть максимальная длина существенной последовательности индексов, описывающей элемент информационной структуры, не превышает трех).

Решение сформулированной в терминах рефлексивной игры задачи скрытого управления позволяет определить с нормативной точки зрения ту структуру информированности, которую активный агент должен навязать пассивному агенту. Но за рамками рассматриваемых ниже формальных моделей остается *технология скрытого управления*, понимаемая как совокупность методов, операций, приемов, этапов и т.д., последовательное осуществление которых обеспечивает решение поставленной задачи [21, 55]. Прикладные технологии информационного управления изучаются и применяются в социальной психологии, нейролингвистическом программировании, психотерапии и т.д. [11, 12, 16, 20, 22, 27, 30, 30, 49-51, 69, 75, 88, 91, 93 и др.].

Другими словами, в рамках рефлексивной теоретико-игровой модели можно рекомендовать активному агенту сформировать у пассивного агента определенную информационную структуру, но ничего нельзя сказать о том, *как* ему это сделать. С другой стороны, описываемое в упомянутых выше работах по скрытому управлению многообразие способов воздействия касается именно технологии формирования активным агентом информационной структуры пассивного агента при известных целях воздействия. Следовательно, формальные модели позволяют получить ответ на вопрос – *что* следует делать активному агенту в рамках информационного управления, а социальная психология и другие гуманитарные науки [27, 33, 50, 88, 91, 93] накапливают факты об эффективных способах достижения цели.

Число возможных реальных ситуаций, в которых может быть использовано информационное управление, настолько велико, а сами ситуации настолько разнородны (несколько упрощает ситуацию тот факт, что в известных работах пассивный агент не подвергается сомнению сообщаемую активным агентом информацию, то есть проблема доверия [62] практически не рассматривается), что на сегодняшний день не найдено универсальных рецептов и **технология скрытого управления является искусством.**

Превращение ее в науку (путем систематизации, разработки нормативных моделей самого *процесса воздействия*, их исследования, идентификации и т.д.) является перспективной и актуальной задачей, но выходит за рамки настоящего исследования. Поэтому остановимся более подробно на анализе нормативных моделей, для которых изучим задачи синтеза оптимальных информационных воздействий.

Из того, что активный агент (следуя терминологии теории иерархических игр, будем его условно обозначать номером «1») имеет достоверную информацию о неопределенном параметре следует, что $\theta_1 = \theta$. Из того, что он адекватно информирован о пассивном агенте (которого будем условно обозначать номером «2»), следует, что $I_{12} = I_2$. Из того, что пассивный агент считает активного адекватно информированным о нем, следует, что $I_{212} = I_2$. Из того, что ранг рефлексии не превышает двух, следует, что активный агент имеет возможность влиять на θ_2 , θ_{21} , θ_{212} и всевозможные их комбинации.

Итак, гипотетически имеем семь вариантов: ранг рефлексии пассивного агента равен нулю, информационное воздействие направлено на θ_2 (условно назовем эту задачу *задачей А*); ранг рефлексии равен единице, информационное воздействие направлено на θ_{21} (*задача В*); ранг рефлексии равен двум, информационное воздействие направлено на θ_{212} (*задача В*); ранг рефлексии равен единице, информационное воздействие направлено на θ_2 и θ_{21} (*задача АВ*); ранг рефлексии равен двум, информационное воздействие направлено на θ_2 и θ_{212} (*задача АВ*); ранг рефлексии равен двум, информационное воздействие направлено на θ_{21} и θ_{212} (*задача ВВ*); ранг рефлексии равен двум, информационное воздействие направлено на θ_2 , θ_{21} и θ_{212} (*задача АВВ*).

Рассмотрим перечисленные варианты, считая без ограничения общности, что множества возможных информированностей пассивного агента – допустимых значений θ_2 , θ_{21} и θ_{212} – равны Ω и не зависят от ранга рефлексии. В качестве содержательных иллюстраций будем приводить ссылки на номера *стратагем* – стратегий, применяемых в политике и военном искусстве – в со-

ответствии с их описанием в [16]⁴⁰ (обзор современных подходов к использованию рефлексивного управления в военном деле приведен в [83]).

Задача А. В данной задаче будем считать, что целевая функция $f_2(\cdot)$ пассивного агента не зависит от действий активного агента, или в ней фигурирует некоторое фиксированное действие активного агента – см. рис. 3.26,⁴¹ на котором изображены существенные компоненты информационной структуры.

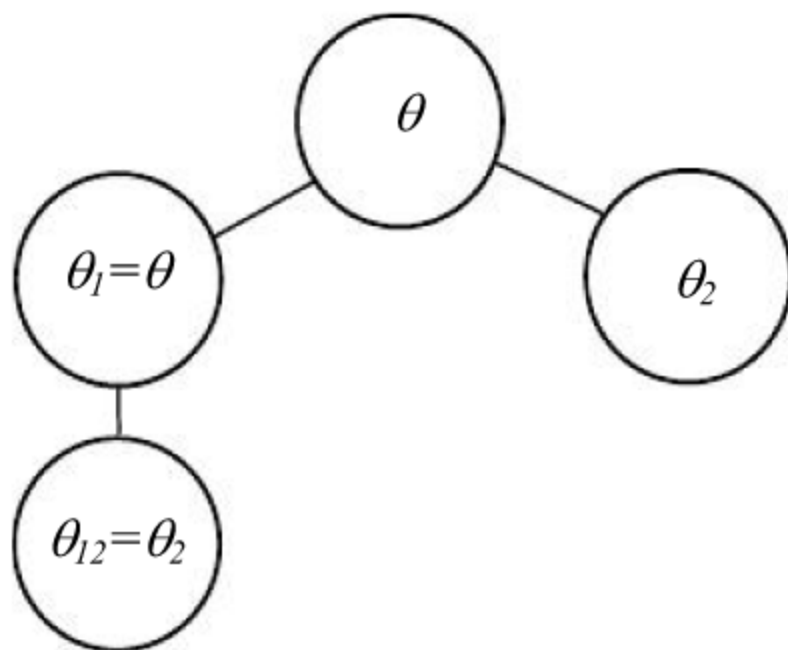


Рис. 3.26. «Информационная структура» в задаче А

Так как воздействие направлено на θ_2 , то в соответствии с классификацией, введенной в [62], задача А является задачей информационного регулирования и рефлексивное управление в ней отсутствует (в остальных шести задачах оно присутствует).

Рассматриваемая рефлексивная игра является иерархической игрой типа Γ_1 [18, 19, 21, 34] (игрой Штакельберга), в которой активный агент, делая первый ход, вынужден предсказывать ответную реакцию пассивного агента. Обозначим $X_2(\theta_2) = \text{Arg} \max_{x_2 \in X_2} f_2(\theta_2, x_2)$ – множество действий пассивного

⁴⁰ Отметим, что в большинстве «классических» стратагем (а их всего 36) информационное управление отсутствует (см. стратагемы №№ 2, 4, 5, 9, 11, 12, 15-26, 28-31, 33, 35, 36), и они могут рассматриваться как изложение проверенных временем и широко распространенных технологий (см. определение выше) скрытого или институционального (см., например, стратагемы №№ 2, 4, 5 и др.) управления (то есть управления условиями деятельности активного и/или пассивного агентов).

⁴¹ Напомним, что слева отражается информированность первого (активного) агента – $\theta_1, \theta_{12}, \theta_{121}$ и т.д., а справа – информированность второго (пассивного) агента – $\theta_2, \theta_{21}, \theta_{212}$ и т.д.

агента (множество «наилучших ответов»), доставляющих максимум его целевой функции при информированности $\theta_2 \in \Omega$. В рамках существующей информационной структуры это множество может быть вычислено активным агентом. Следовательно, его целью является выбор такого «сообщения» $\theta_2^* \in \Omega$, которое обеспечивало бы выбор пассивным агентом действия из наиболее выгодного для активного агента множества наилучших ответов. Если в качестве критерия сравнения множеств наилучших ответов использовать гарантированное значение целевой функции активного агента, то решение задачи A имеет вид:

$$\theta_2^*(\theta) = \arg \max_{w \in \Omega} \max_{y_1 \in A_1} \min_{x_2 \in X_2(w)} f_1(\theta, x_1, x_2).$$

В рассматриваемой задаче граф рефлексивной игры имеет вид, приведенный на рис. 3.27 (стрелка от x_1 к x_2 отсутствует, так как целевая функция пассивного агента



Рис. 3.27. Граф рефлексивной игры в задаче A

не зависит в рассматриваемой модели от действий активного агента). Задача A возникает в стратагемах № 7 («извлечь нечто из ничего» – стратегия моделирования реальности, которой нет на самом деле) и № 32 («стратагема открытых городских ворот» – представить ложное настоящим, а настоящее ложным).

Задачи Б и АБ. Данная задача отражает наиболее распространенный в скрытом управлении случай – воздействие на θ_{21} . В этой ситуации пассивный агент обладает собственными представлениями θ_2 о состоянии природы, которые достоверно известны активному агенту. Информационная структура приведена на рис. 3.28.

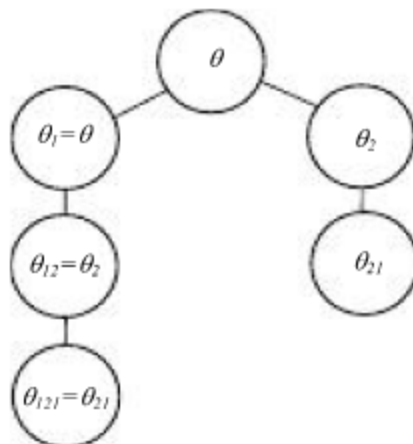


Рис. 3.28. «Информационная структура» в задачах Б и АБ

Активный агент может вычислить субъективное равновесие пассивного агента:

$$X_2(\theta_2, \theta_{21}) = \{x_2 \in X_2, x_{21} \in X_1 \mid \\ \forall y_2 \in X_2 f_2(\theta_2, x_{21}, x_2) \geq f_2(\theta_2, x_{21}, y_2), \\ \forall y_1 \in X_1 f_1(\theta_{21}, x_{21}, x_2, \theta_{21}) \geq f_1(\theta_{21}, y_1, x_{21})\}.$$

Отметим, что в силу $I_{212} = I_2$ выполнено $x_{212} = x_2$, то есть при определении своего субъективного равновесия пассивный агент считает, что его равновесное действие x_2 может быть «вычислено» активным агентом.

При фиксированном (и известном достоверно обоим агентам) значении θ_2 задача рефлексивного управления заключается в нахождении активным агентом такого значения θ_{21} , при котором выбираемое пассивным агентом из множества $X_2(\theta_2, \theta_{21})$ действие максимизировало бы целевую функцию активного агента:

$$\theta_{21}^*(\theta) = \arg \max_{w \in \Omega} \max_{y_1 \in A_1} \min_{y_2 \in \text{Proj}_2(X_2(\theta_2, w))} f_1(\theta, x_1, x_2).$$

Если активный агент имеет возможность в задаче Б влиять и на θ_2 , то получаем задачу АБ, в которой максимизация целевой функции активного агента должна вестись и по параметру θ_2 , то есть решение задачи АБ имеет вид:

$$(\theta_2^*(\theta), \theta_{21}^*(\theta)) = \arg \max_{u, w \in \Omega} \max_{y_1 \in A_1} \min_{x_2 \in \text{Proj}_2(X_2(u, w))} f_1(\theta, x_1, x_2).$$

В рассматриваемой задаче граф рефлексивной игры имеет вид, приведенный на рис. 3.29.

Задача Б возникает в следующих стратегемах (напомним, что ссылки на номера стратегем приводятся в соответствии с их описанием в [16]):

- №1 – «обмануть императора, чтобы он переплыл море» – открыто проводятся действия, маскирующие действительную цель, в результате чего противнику навязывается шаблон восприятия; №3 – «убить чужим ножом» – противник уничтожается или ослабляется чужими руками;

- №6 – «на востоке поднимать шум, на западе наступать» – скрывается истинное направление агрессии, нанесения удара;

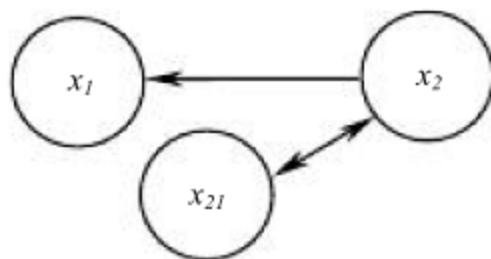


Рис. 3.29 . Граф рефлексивной игры в задачах Б и АБ

- №8 – «для вида чинить мостики, втайне выступать в Чень-цань» – убеждение врага в том, что он правильно оценивает твои планы, и достижение победы нестандартным маневром;

- №10 – «скрывать за улыбкой кинжал» – сокрытие за внешними дружескими проявлениями враждебности, неприязни, агрессивных планов;

- №14 – «позаимствовать труп, чтобы вернуть душу» – использование для решения новых проблем известных ранее способов, идей, средств, лидеров;

- №27 – «делать безумные жесты, не теряя равновесия» – заставить противника недооценить твои возможности, способности, интеллект, осведомленность.

Подробное содержательное описание и примеры практического использования упомянутых стратагем можно найти в [16, 51, 91].

Отметим, что стратагема № 3 (см. [16]) является, пожалуй, единственной, в которой в конфликте явным образом участвуют (помимо активного и пассивного агента) *третьи лица*. Другими словами, в этом случае активный агент стремится использовать для достижения своих целей третьих лиц, убедив их, что они действуют в собственных интересах, и сформировав соответствующее убеждение у пассивного агента, то есть воздействие направлено на θ_{23} или θ_{31} , θ_{32} и т.д.

Задача Б отражает, наверное, наиболее распространенный тип скрытого управления, в котором активный агент навязывает определенный шаблон действий пассивному агенту за счет формирования у последнего требуемых представлений о шаблоне поведении активного агента. При этом манипуляция оказывается эффективной только в случае, если факт ее наличия не осознается пассивным агентом (см. предположения о структуре информированности выше).

Рассмотрим иллюстративный пример. В [88, С.235] описан психологический эксперимент, проведенный изучавшим психологию бизнесменом, владельцем компании, импортирующей в США говядину. «Торговые агенты позвонили, как обычно, постоянным клиентам компании – закупщикам говядины для супермаркетов и других точек, торгующих продуктами в розницу, и одним из трех способов предложили им сделать заказ. Одни клиенты услышали предложение, сделанное в стандартной форме.

Другим клиентам дополнительно была предоставлена информация о том, что поставки импортной говядины будут сокращены в ближайшие несколько месяцев. Третья группа клиентов получила те же сведения, что и вторая группа, а также информацию о том, что мало кто узнает о предстоящем сокращении поставок, так как эти сведения поступили из надежного, но засекреченного источника. ...По сравнению с клиентами, которым было сделано торговое предложение в стандартной форме, те клиенты, которым было также сказано о дефиците говядины, заказали ее в два раза больше... Клиенты, которые решили, что владеют «исключительной» информацией ... приобрели в шесть раз больше говядины, чем клиенты, которым было сделано торговое предложение в стандартной форме». В данном примере имеет место задача АБ: части клиентов сообщалась информация θ_i о состоянии природы, другим агентам помимо этого сообщалась информация θ_{ij} , которой якобы владеют остальные агенты.

Использование термина «шаблон» при содержательных интерпретациях задачи Б представляется очень удачным, так как соответствует используемым в *ситуационном управлении* [32, 74] типовым связям между ситуациями и действиями (управлениями), наиболее эффективными в этих ситуациях.

Первой возможной интерпретацией является следующая: активный агент убеждает пассивного, что первый использует некоторый шаблон. Пассивный агент в ответ также использует некоторый шаблон. Получается «равновесие в шаблонах». Далее активный агент ведет себя нестандартно (вне своего шаблона). Если пассивный агент остается в рамках своего шаблона, то активный агент может получить определенный выигрыш. Аналогичный эффект имеет место в случае, когда у пассивного агента уже сформирован какой-то собственный шаблон, известный активному агенту.

Отметим, что неэффективность шаблонной деятельности пассивного агента во многих случаях является кажущейся, так как применяемый им шаблон может оказаться эффективным «в среднем», то есть как *унифицированная реакция* на поведение разных оппонентов в регулярно меняющихся внешних условиях (в формальных терминах шаблоны могут быть описаны как наилучшие ответы агентов на действия оппонентов).

Задача В. Данная задача отражает достаточно редко встречающийся в скрытом управлении случай – воздействие на θ_{212} . В этой ситуации пассивный агент обладает собственными представлениями θ_2 о состоянии природы и информированности о состоянии природы активного агента θ_{21} , которые достоверно известны активному агенту. Отметим, что при этом пассивный агент *не* считает активного агента адекватно информированным о нем, иначе имело бы место $I_{212} = I_2$ и воздействие на θ_{212} было бы бессмысленно. Информационная структура приведена на рис. 3.30.

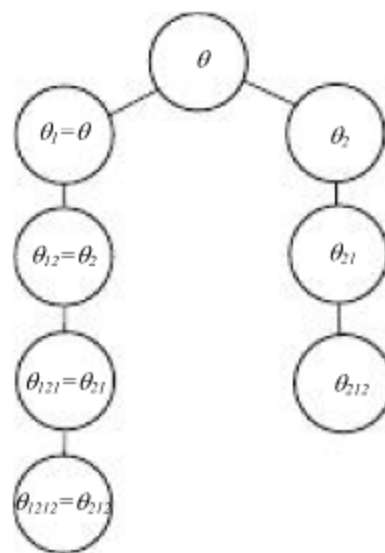


Рис. 3.30. «Информационная структура» в задачах В, АВ, БВ и АВВ

Активный агент может вычислить субъективное равновесие пассивного агента:

$$\begin{aligned} X_2(\theta_2, \theta_{21}, \theta_{212}) = \{x_2 \in X_2, x_{21} \in X_1, x_{212} \in X_2 \mid \\ \forall y_2 \in X_2 \ f_2(\theta_2, x_{21}, x_2) \geq f_2(\theta_2, x_{21}, y_2), \\ \forall y_1 \in X_1 \ f_1(\theta_{21}, x_{21}, x_{212}) \geq f_1(\theta_{21}, y_1, x_{212}), \\ \forall y_2 \in X_2 \ f_2(\theta_{212}, x_{21}, x_{212}) \geq f_2(\theta_{212}, x_{21}, y_2)\}. \end{aligned}$$

При фиксированных (и известных достоверно обоим агентам) значениях θ_2 и θ_{21} задача рефлексивного управления заключается в нахождении активным агентом такого значения θ_{212} , при котором выбираемое пассивным агентом из множества $X_2(\theta_2, \theta_{21}, \theta_{212})$ действие максимизировало бы целевую функцию активного агента:

$$\theta_{212}^*(\theta) = \arg \max_{w \in \Omega} \max_{x_1 \in X_1} \min_{x_2 \in \text{Proj}_2(X_2(\theta_2, \theta_{21}, w))} f_1(\theta, x_1, x_2).$$

Если активный агент имеет возможность в задаче В влиять и на θ_2 и/или θ_{21} , то получаем задачу АВ, БВ или АВБ в которой максимизация целевой функции активного агента должна вестись и по параметру θ_2 , то есть решение задачи АВБ имеет вид:

$$(\theta_2^*(\theta), \theta_{21}^*(\theta), \theta_{212}^*(\theta)) = \arg \max_{u, w, h \in \Omega} \max_{x_1 \in X_1} \min_{x_2 \in \text{Proj}_2(X_2(u, w, h))} f_1(\theta, x_1, x_2).$$

В рассматриваемой задаче граф рефлексивной игры имеет вид, приведенный на рис. 3.31.

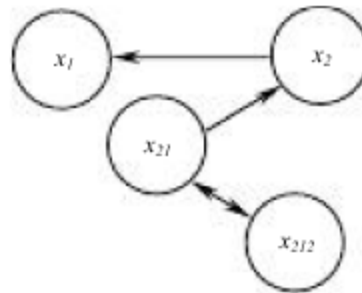


Рис. 3.31. Граф рефлексивной игры в задачах В, АВ, БВ и АВБ

Задача В возникает в стратагемах № 13 («бить по траве, чтобы испугнуть змею» – произвести демонстративное действие, которое может спровоцировать проявление врагом истинных намерений) и № 34 («стратагема самострела» – демонстрация наличия противоречий в собственном лагере). Подробное содержательное описание и примеры практического использования упомянутых стратагем можно найти в [16, 51, 91].

Таким образом, базовыми из семи перечисленных выше задач скрытого управления являются отличающиеся на единицу по рангу рефлексии задачи А, АВ и АВБ. Приведенные результаты позволяют в каждом конкретном случае ставить и решать эти задачи.

4.2. СМИ И ИНФОРМАЦИОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ

Опишем в терминах структур информированности информационное управление (скрытое управление, манипуляции и т.д.), осуществляемое средствами массовой информации (СМИ), на примере рекламы и предвыборных технологий (данный тип информационного воздействия может рассматриваться как разновидность скрытого управления, однако, в силу массового распространения первого на практике ему посвящается отдельный раздел).

Предположим, что имеется агент – объект информационного воздействия. Цель воздействия – сформировать у агента определенное отношение к конкретному объекту или субъекту.

В случае рекламы агентом является потребитель, а объектом – товар или услуга [80, 85]. Требуется, чтобы потребитель приобрел данный товар или услугу.

В случае предвыборных технологий агентом является избиратель, а субъектом – кандидат. Требуется, чтобы избиратель проголосовал за данного кандидата.

Рассмотрим i -го агента. Всех остальных агентов объединим в одного, для обозначения которого будем использовать индекс j . Пусть $\theta \in \Omega$ – объективная характеристика объекта, неизвестная достоверно ни одному из агентов. В качестве характеристик могут выступать потребительские свойства товаров, качества кандидатов и т.д.

Обозначим $\theta_i \in \Omega$ – представления i -го агента об объекте, $\theta_{ij} \in \Omega$ – его представления о представлениях об объекте j -го агента, и т.д.

Предположим для простоты, во-первых, что множество возможных действий каждого агента состоит из двух действий: $X_i = X_j = \{a; r\}$, где действие a (*accept*) соответствует приобретению товара или услуги, голосованию за рассматриваемого кандидата и т.д., а действие r (*reject*) – отказу от приобретения товара или услуги, голосованию за других кандидатов и т.д. Во-вторых, предположим, что множество Ω состоит из двух элементов, характеризующих качества объекта – g (*good*) и b (*bad*), то есть $\Omega = \{g; b\}$.

Рассмотрим последовательно (в порядке усложнения) ряд моделей поведения агента.

Модель 0 (рефлексия отсутствует). Предположим, что поведение рассматриваемого агента описывается отображением $B_i(\cdot)$ множества Ω свойств объекта во множество X_i действий агента, то есть $B_i: \Omega \rightarrow X_i$. Примером такого отображения может служить следующее: $B_i(g) = a$, $B_i(b) = r$, то есть, если агент считает, что товар (кандидат) хороший, то он его приобретает (отдает за него свой голос), и отвергает в противном случае.

В рассматриваемой модели информационное управление является информационным регулированием [19, 62] и заключается

в формировании у агента представлений об объекте, приводящих к требуемому выбору. В рассматриваемом примере для того, чтобы агент приобрел товар (проголосовал за требуемого кандидата), необходимо сформировать у него следующие представления: $\theta_i = g$. Напомним, что в настоящей работе технологии информационного управления (то есть способы формирования требуемых представлений) не рассматриваются – см. их описание в [5, 11, 12, 20, 23, 51, 69, 75, 80, 91].

Модель 1 (первый ранг рефлексии). Предположим, что поведение рассматриваемого агента описывается отображением $B_i(\cdot)$ множеств $\Omega \ni \theta_i$ свойств объекта и $\Omega \ni \theta_{ij}$ – представлений агента о представлениях других агентов – во множество X_i его действий, то есть $B_i: \Omega \times \Omega \rightarrow X_i$. Примерами такого отображения могут служить следующие:

$$B_i(g, g) = a, B_i(g, b) = a, B_i(b, g) = r, B_i(b, b) = r,$$

и

$$B_i(g, g) = a, B_i(g, b) = r, B_i(b, g) = a, B_i(b, b) = r.$$

В первом случае агент ориентируется на собственное мнение, во втором – на мнение других агентов («общественное мнение»).

В рассматриваемой модели информационное управление является и информационным регулированием, и рефлексивным управлением, и заключается в формировании у агента представлений об объекте и о представлениях других агентов, приводящих к требуемому выбору. В рассматриваемом примере для того, чтобы агент приобрел товар (проголосовал за требуемого кандидата), необходимо в первом случае сформировать у него следующие представления: $\theta_i = g$, θ_{ij} – любое, а во втором случае – $\theta_{ij} = g$, θ_i – любое.

Следует подчеркнуть, что в информационном управлении посредством СМИ не всегда воздействие направлено на формирование непосредственно θ_{ij} – в большинстве случаев воздействие осуществляется косвенно – у агента формируются представления о поведении (выбираемых действиях) других агентов, по которым данный агент может восстановить их представления. Примерами косвенного формирования представлений θ_{ij} могут служить рекламные лозунги «Новое поколение выбирает Pepsi», «В то время, когда все настоящие мужики ...», обращение к мнению авторитетных людей и т.д.; информация о том, что по опросам

общественного мнения значительное число избирателей собирается поддержать данного кандидата и т.д.

Модель 2 (второй ранг рефлексии). Предположим, что поведение рассматриваемого агента описывается отображением $B_i(\cdot)$ множеств $\Omega \ni \theta_i$ свойств объекта, $\Omega \ni \theta_{ij}$ – представлений агента о представлениях других агентов, и $\Omega \ni \theta_{iji}$ – представлений агента о представлениях других агентов о его собственных представлениях – во множество X_i его действий, то есть $B_i: \Omega \times \Omega \times \Omega \rightarrow X_i$. Примером такого отображения, в котором проявляются отличные от нулевой и первой моделей свойства, может служить следующее: $\forall \theta \in \Omega \ B_i(\theta, \theta, g) = a, B_i(\theta, \theta, b) = r$.

В данном случае агент следует своей «социальной роли» и производит выбор, которого от него ожидают другие агенты.

В рассматриваемой модели информационное управление является рефлексивным управлением и заключается в формировании у агента представлений о представлениях других агентов о его собственных представлениях, приводящих к требуемому выбору. В рассматриваемом примере для того, чтобы агент приобрел товар (проголосовал за требуемого кандидата), необходимо сформировать у него следующие представления: $\theta_{iji} = g$.

Следует подчеркнуть, что в информационном управлении воздействие не всегда направлено на формирование непосредственно θ_{iji} – в большинстве случаев воздействие осуществляется косвенно – у агента формируются представления о том, что другие агенты ожидают от него определенных действий. В данном случае речь идет о так называемом социальном влиянии, многочисленные примеры которого можно найти в учебниках по социальной психологии [27, 50, 93]. Примерами косвенного формирования представлений θ_{iji} могут служить лозунги «Ты записался добровольцем?», «А ты купил (сделал) ...?», «В Вашем положении (при Вашем статусе) ...?» и т.д.; информация о том, что по опросам общественного мнения большинство представителей социальной группы, к которой принадлежит (или с которой идентифицирует себя) агент, собирается поддержать данного кандидата и т.д.

Таким образом, мы рассмотрели простейшие модели информационного управления посредством СМИ, сформулированные в терминах рефлексивных моделей принятия решений и структур

информированности. Во всех этих моделях ранг рефлексии не превышал двух.⁴² Представить себе реальные ситуации, в которых информационное воздействие направлено на более глубокие компоненты структуры информированности, затруднительно. Поэтому перспективным направлением дальнейших исследований является изучение формальных моделей информационного управления (и технологий этого управления) агентами, осуществляющими коллективное принятие решений в условиях взаимосвязанной информированности.

4.3. РЕФЛЕКСИЯ В ПСИХОЛОГИИ

В настоящем разделе в терминах рефлексивных игр описываются некоторые явления и процессы, являющиеся предметом исследований в психологии – психология шахматного творчества; транзакционный анализ; окно Джохари; модель этического выбора. Не претендуя на новые результаты в области психологии, мы лишь преследуем цель проиллюстрировать возможность и целесообразность использования аппарата рефлексивных игр в гуманитарных областях.

Психология шахматного творчества. Хрестоматийным примером рефлексивного анализа является шахматная игра [28]. Можно выделить два аспекта рассмотрения взаимодействия агентов. Во-первых, при выборе хода каждый из шахматистов анализирует дерево игры – возможные варианты своего хода, ответа противника (соперника), ответа на ответ и т.д. [2]. Во-вторых, при оценке той или иной позиции или совокупности позиций, соответствующей тому или иному дереву игры, шахматист при анализе возможных ответов противника вынужден смотреть на позицию «его глазами», предсказывать представления противника о его собственной оценке и т.д. (см. описание стратегической и информационной рефлексии выше). В настоящем разделе мы не будем рассматривать рефлексивные аспекты повторяющихся игр, а сконцентрируем основное внимание на рефлексивном анализе агентами позиций.

⁴² Исключением является, наверное, очень редко встречающаяся на практике ситуация, когда информационное воздействие направлено на формирование сразу всей информационной структуры, например путем навязывания «общего знания» – «Голосуй сердцем!», «... – наш выбор!» и т.д.

Рассмотрим следующую модель. Пусть θ – объективная (сложившаяся на шахматной доске) позиция, θ_1 – оценка этой позиции (ее видение) первым агентом (пусть для определенности это будет агент, играющий белыми фигурами), θ_2 – оценка этой позиции (ее видение) вторым агентом (агентом, играющим черными фигурами), θ_{12} – представления первого агента об оценке позиции вторым и т.д.

Проанализируем, основываясь на [37], какие компоненты информационной структуры присутствуют в оценках позиции и влиянии на оценку этой позиции противником (это влияние названо в упомянутой работе психологическим влиянием). Для этого перечислим основные факторы психологического влияния: ходы на шахматной доске; поведение противника; темп игры (скорость принятия решений противником); мнение относительно класса игры противника; информация агента о мнении противника относительно класса игры обоих шахматистов; турнирное положение соперников и др.⁴³

Ярким примером влияния поведения является следующий [37, С. 137]: «Играя с Фишером, Таль попал под сильную атаку и его положение стало критическим. В этот момент юный Фишер записал намеченный ход (сильнейший в данной позиции) и чуть ли не подсунул бланк сопернику. М. Таль рассказывал: «Просит визу, подумал я. Но как реагировать? Нахмуриться – нельзя, улыбнуться – может расшифровать. И я сделал единственное: встал и спокойно начал прогуливаться по сцене». Р. Фишера поразило невозмутимое и уверенное поведение противника. Он засомневался, начал сомневаться в правильности намеченного плана. А затем сделал другой, более слабый ход, вскоре допустил еще один серьезный промах и в результате проиграл партию».⁴⁴

Таким образом, естественно, в информационную структуру входят компоненты θ_i , $i = 1, 2$, поскольку они отражают собственные представления шахматистов о позиции. Большинство шахматной литературы посвящено, фактически, проблемам «пра-

⁴³ Отметим, что использование тех или иных факторов психологического влияния является не содержанием, а, скорее, технологией информационного управления.

⁴⁴ В данном примере в качестве активного агента выступали сначала Фишер, а затем Таль, причем, если бы Фишер не инициировал информационное воздействие, то, может быть, партия развивалась бы по-другому.

вильной» оценки позиций и обучения шахматистов этим оценкам. Из перечисленных выше факторов психологического влияния воздействию на θ_i соответствуют: ходы на шахматной доске, мнение относительно класса игры противника и турнирное положение соперников.

Значительно меньшее внимание (см. ссылки в [35-37]) уделялось компонентам θ_{ij} , $i, j = 1, 2$, влияние на которые может осуществляться поведением противника и темпом игры.

И, наконец, чрезвычайно редко принимаются во внимание компоненты θ_{ijk} , $i, j, k = 1, 2$, соответствующие второму рангу рефлексии – например, информация агента о мнении противника относительно класса игры обоих шахматистов.

Таким образом, проведенный анализ позволяет сделать вывод о том, что при описании шахматной игры⁴⁵ в терминах информационного управления (рефлексивной игры) в большинстве случаев имеет место следующее: число агентов равно двум; ранг рефлексии не превышает двух (максимальное число существенных индексов равно трем); большинство ситуаций рефлексивного управления в шахматах описывается задачей Б (см. выше), в которой ранг рефлексии равен единице.

В заключение отметим, что существует множество работ, в которых технология рефлексивного управления в шахматах (правда, авторы, наверное, не всегда осознают, что описывают процесс и результат информационного управления) описывается ярко, образно и захватывающе (см. [35-37] и ссылки в этих работах). С другой стороны, как справедливо признают и шахматисты, и психологи, и математики шахматы являются очень удобным «полигоном» для построения и верификации моделей конфликтного взаимодействия. Поэтому представляется перспективным систематическое исследование формальных моделей рефлексивных эффектов в шахматной игре.

Трансакционный анализ. Основателем трансакционного анализа является Э. Берн [4]. Суть предложенного им метода заключается в том, что человек в социальной группе в каждый момент времени обнаруживает одно из состояний своего «Я» – Ро-

⁴⁵ Отметим, что при описании шахматной игры, в отличие от скрытого управления, трудно выделить активного и пассивного агента, так как в общем случае распределение ролей априори неизвестно и зависит от личностных качеств шахматистов.

дителя, Взрослого или Ребенка. Агент, находящийся в одном из перечисленных состояний (ситуаций), создает транзакционный стимул другому агенту, который в ответ осуществляет транзакционную реакцию, которая в свою очередь становится стимулом, и т.д. Пара «стимул-реакция» образуют транзакцию. Если источник стимула и получатель реакции, а также получатель стимула и источник реакции совпадают, то такая транзакция называется дополнительной, если нет – то пересекающейся. Игрой Э. Берн называет «серию следующих друг за другом скрытых дополнительных транзакций с четко определенным предсказуемым исходом» [4, С. 37]. В игре могут участвовать несколько агентов (быть может, коллективных), но, тем не менее, транзакция всегда имеет место между двумя агентами. Опишем произвольную транзакцию в терминах рефлексивной игры. Любая транзакция между двумя агентами (инициатора условно будем называть первым агентом) может быть представлена в виде $(a \rightarrow b), (c \rightarrow d)$, где $a, b, c, d \in \Omega = \{\text{Родитель, Взрослый, Ребенок}\}$ – ситуации, соответственно источника стимула, получателя стимула, источника реакции и получателя реакции. Можно считать, что транзакции соответствует одна из двух конечных информационных структур, приведенных на рис. 3.32 и 3.33,⁴⁶ где $\theta_1 = a$ ($\theta_{121} = a$), $\theta_{12} = b$, $\theta_2 = c$ ($\theta_{212} = c$), $\theta_{21} = d$.

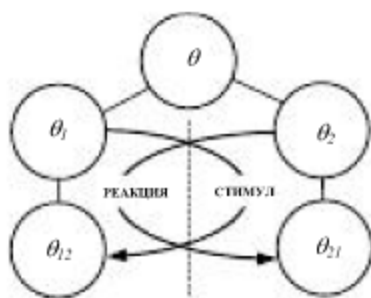


Рис. 3.32. Информационная структура транзакции

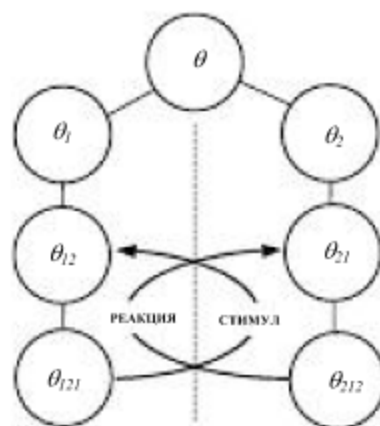


Рис. 3.33. Информационная структура транзакции

Таким образом, транзакция может быть записана в виде $(\theta_1 \rightarrow \theta_{12}), (\theta_2 \rightarrow \theta_{21})$ или $(\theta_{121} \rightarrow \theta_{12}), (\theta_{212} \rightarrow \theta_{21})$.

⁴⁶ Различие заключается в том, рассматривает ли себя инициатор транзакции независимо ($a = \theta_1$), или ориентируется на имеющиеся у него представления оппонента о нем ($a = \theta_{121}$).

Граф рефлексивной игры в данном случае включает шесть вершин (два реальных агента и четыре фантомных). Специфика информационного равновесия для транзакционного анализа заключается в том, что, принимая решения (то есть занимая позиции Родителя, Взрослого или Ребенка) первый и второй агент обладают различной информацией – первый агент, производя выбор, моделирует желаемую для него ситуацию, а второй агент – констатирует – фиксирует распределение ролей, зная выбор первого.

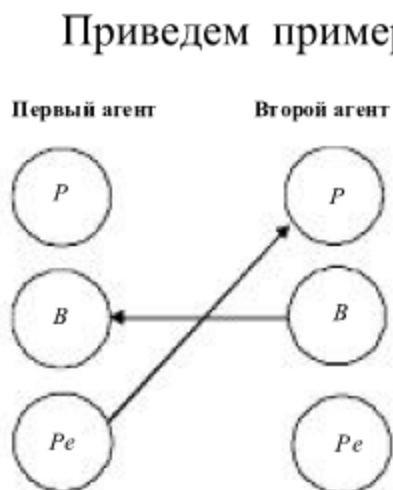


Рис. 3.34. Пример пересекающейся транзакции

Приведем пример. Пусть транзакция описывается структурной диаграммой, приведенной на рис. 3.34. В рассматриваемом примере первый агент «обращается» ко второму с позиции Ребенка (то есть предлагает ему рассмотреть себя как ребенка: $\theta_{121} = \text{«Ребенок»}$), считая последнего Родителем ($\theta_{12} = \text{«Родитель»}$). Второй агент «отвечает» первому как Взрослый Взрослому (то есть предлагает ему рассмотреть себя как Взрослого: $\theta_{212} = \text{«Взрослый»}$, считая его также Взрослым: $\theta_{21} = \text{«Взрослый»}$).

В заключение отметим, что в транзакционном анализе максимальный ранг рефлексии агентов равен двум.

Окно Джохари. Одним из широко распространенных в социальной психологии методов изучения потенциальной изменчивости личностных характеристик в социальной среде связан с применением *окна Джохари* (см. рис. 3.35), названного так по именам создания метода – Джозефа Лафта и Гарри Ингама [124, 125].

	Другие	Что другие знают обо мне	Чего другие не знают обо мне
Я			
Что я знаю о себе		I	II
Чего я не знаю о себе		III	IV

Рис. 3.35. Окно Джохари

Этот метод позволяет представить агента в двух измерениях – «Я» и «другие» и используется в процессе обучения работников,

чья деятельность требует от них понимания того, как и почему окружающие имеют о них мнение, отличное от их собственного.

Окно I (см. рис. 3.35) называется *открытой областью* и соответствует информации, которая известна и агенту и другим о нем.

Окно II называется *скрываемой областью* и соответствует информации об агенте, которая известна ему, но неизвестна другим.

Окно III называется *скрытой областью* и соответствует информации об агенте, которая известна другим, но неизвестна ему.

Область IV называется *слепой областью* и соответствует информации об агенте, которая неизвестна ни ему, ни другим.

Обозначим θ – объективная информация об агенте, θ_1 – его субъективная информация о себе, θ_2 – информация о нем других агентов. Без ограничений общности можно считать, что все информационные компоненты – θ , θ_1 и θ_2 – являются подмножествами некоторого универсального множества Ω .

Тогда открытой области (окно I на рисю 3.35) соответствует информация $\theta_1 \cap \theta_2$, скрываемой области (окно II) – информация $\theta_1 \cap (\theta \setminus \theta_2)$, скрытой области (окно III) – информация $\theta_2 \cap (\theta \setminus \theta_1)$, слепой области (окно IV) – информация $(\theta \setminus \theta_1) \cap (\theta \setminus \theta_2)$. Легко видеть, что объединение всех четырех областей дает универсальное множество θ . В данном случае описание ведется с некоторой внешней (объективной) точки зрения, то есть неявно предполагается, что $\theta_1 \subseteq \theta$, $\theta_2 \subseteq \theta$. При этом ранг рефлексии равен нулю. Если отказаться от объективности и рассматривать ситуацию с точки зрения некоторого агента (например, того, для которого строится окно Джохари), то ранг рефлексии будет равен единице. Если агентов всего два («я» и «другие»), то ранг рефлексии будет не больше двух. Более того, возможно построение окон Джохари, существующих в представлениях фантомных агентов (τ -агентов, где $|\tau| \geq 2$), то есть информационная структура для рефлексивной игры двух агентов может рассматриваться как совокупность τ -субъективных окон Джохари.

Модель этического выбора. Как отмечалось выше, в данной работе нас в первую очередь интересует не столько авторефлексия, сколько рефлексия второго рода, связанная с представлениями субъекта о представлениях других участников ситуации. В экономических моделях, где субъект рассматривается как рациональный индивид (букв. «неделимый»), авторефлексия не дает

ничего нового: «Я знаю, что я знаю, что я знаю... что...» не дает новой информации по сравнению с «Я знаю, что...». Этому обстоятельству соответствует аксиома автоинформированности (см. раздел 3.2). Однако по иному обстоит дело в психологии, которая рассматривает человека как некоторую сложную целостность.

В.А. Лефевром [44, 46, 120-122] и другими исследователями [38, 81, 82, 92] изучается рефлексивная модель принятия решений человеком, подчиняющегося системе культурных и этических норм. В частности, в работе [122] описывается модель игрового взаимодействия двух агентов, выбор которых из двух возможных альтернатив (действием является вероятность выбора первой альтернативы) осуществляется с учетом двух аспектов: утилитарного и этического.

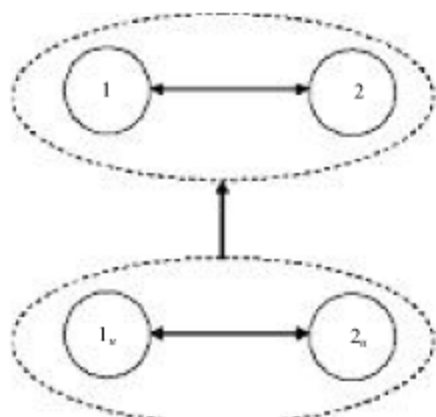


Рис. 3.36. Модель этического выбора

Утилитарный аспект соответствует максимизации собственного выигрыша, в то время как итоговый выбор учитывает этическую «нагруженность» альтернатив. Опишем, следуя упомянутой работе, модель этического выбора в терминах развиваемой в настоящей работе концепции информационного равновесия. В описываемой ситуации для каждого из двух агентов (обозначим их номерами 1 и 2) можно выделить утилитарный аспект их выбора в виде «агентов» 1_u и 2_u соответ-

ственно. Тогда процесс итогового выбора осуществляется следующим образом (см. рис. 3.36). Сначала «агенты» 1_u и 2_u «разыгрывают» между собой игру с общим знанием и находят свои равновесные стратегии $x_{1_u}^*$ и $x_{2_u}^*$ (интерпретируемые как вероятности выбора первой альтернативы). Затем агенты 1 и 2, для которых пара $(x_{1_u}^*, x_{2_u}^*)$ является общим знанием, разыгрывают еще одну игру для итогового выбора. При этом они ищут вектор действий, удовлетворяющий системе соотношений

$$\begin{cases} x_1 \in BR_1(x_2, x_{1_u}^*, x_{2_u}^*), \\ x_2 \in BR_2(x_1, x_{1_u}^*, x_{2_u}^*). \end{cases} \quad (3.62)$$

Решением системы (3.62) являются числа x_1^* и x_2^* , которые интерпретируются как вероятности итогового выбора первой альтернативы.

4.4. РЕФЛЕКСИЯ В ХУДОЖЕСТВЕННЫХ ПРОИЗВЕДЕНИЯХ

Как отмечалось выше, граф рефлексивной игры может быть построен и без конкретизации целевых функций агентов; при этом он отражает качественное соотношение информированностей рефлексизирующих агентов. Приведем примеры из художественных произведений.

Если научная литература содержит субъективное описание объективной реальности и характеризуется стремлением к максимальной объективизации, то художественной литературе свойственна рефлексия хотя бы с той точки зрения, что любое художественное произведение описывает рефлексивную реальность, то есть, является результатом рефлексии автора. Кроме того, сюжеты многих художественных произведений построены на несовпадении объективной реальности и/или рефлексивных реальностей героев. Поясним последнее утверждение. Если отвлечься от тривиальной «рефлексии» типа «У попа жила собака...», то в любом художественном произведении имеется набор персонажей – людей, играющих те ли иные роли⁴⁷ (ситуационные, коммуникативные, социальные и т.д.), которые обусловлены обстановкой и с которыми взаимодействует персонаж. При этом один и тот же герой художественного произведения может выступать в различных ролях (ему при этом соответствуют различные фантомные агенты) – восприятие им самого себя может отличаться от восприятия его другими героями.

В основе многих сюжетов лежит смена ролей или обмен ролями, юмор (а иногда и трагедия) заключается в несоответствии между ролями одного и того же героя (см. также несоответствие шаблону в разделе 4.1). Опишем формально возможные варианты взаимной информированности двух субъектов – «Героя» и «Окружения», которых будем обозначаться соответственно симво-

⁴⁷ Отдельным, но выходящим за рамки настоящего исследования, вопросом, традиционно поднимаемым в рассуждениях об актерском мастерстве, является следующий – насколько глубоко актеру следует вживаться в роль? Однозначного ответа на него нет даже среди профессионалов – часть маститых актеров считает, что должна происходить полная внутренняя идентификация актера и персонажа, часть – что всегда необходимо контролировать различие между собой и персонажем.

лами «Г» и «О». Обозначим: Г – нерефлексивные представления героя об объективной реальности (в которую входят все, включая его самого и его окружение); О – нерефлексивные представления окружения об объективной реальности. Герой и окружение являются реальными агентами, в то время как следующие агенты являются фантомными: ГГ – представления героя о себе; ГО – представления героя об окружении; ГОГ – представления героя о представлениях окружения о нем; ОО – представления окружения о себе; ОГ – представления окружения о герое; ОГО – представления окружения о представлениях героя об окружении.⁴⁸

Конечные (ранг рефлексии равен двум) информационные структуры героя и его окружения приведены на рис. 3.37, на котором компоненты информированности героя или о герое выделены жирными линиями.

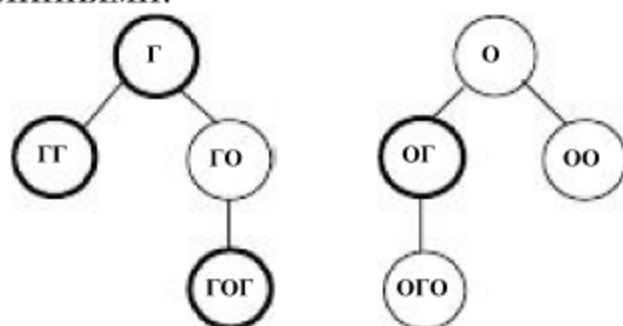


Рис. 3.37. Информационные структуры героя и его окружения

Обсудим содержание вершин графа, приведенного на рис. 3.37. С точки зрения героя вершина ГГ соответствует авторефлексии (осознание собственной «роли»), вершина ГО – роли окружения, ГОГ – той роли, которой соответствует (или, с нормативной точки зрения, должен соответствовать) герой с точки зрения окружения. Аналогично описываются вершины с точки зрения окружения.

Как отмечалось выше, в основе многих сюжетов, например «комедии положений» и др., лежит несоответствие (конфликт) между ролями одного и того же субъекта (быть может, коллективного). Рассматриваемая информационная структура (см. рисунок 37) позволяет перечислить возможные конфликты⁴⁹.

Прежде всего, следует различать *внутренние* (осознаваемые субъектом в рамках его информированности, то есть возникаю-

⁴⁸ Содержательные интерпретации компонентов ГГО, ГГГ, ГОО, ООО, ООГ, ОГГ затруднительны.

⁴⁹ Во многих художественных произведениях присутствуют одновременно конфликты нескольких типов.

щие между компонентами его собственной структуры информированности) и *внешние* (между компонентами структур информированности субъекта и окружения) *конфликты*. Всего между четырьмя затененными на рисунке 37 компонентами информированности возможны шесть типов конфликтов. Перечислим их и приведем примеры.⁵⁰

Возможны три типа внутренних конфликтов:

1. *Несовпадение Г и ГГ* – внутренний конфликт между героем и его представлениями о себе. Примерами являются: практически все произведения Ф.М. Достоевского, которого можно по праву считать непревзойденным знатоком и мастером использования эффектов авторефлексии; «Детство, отрочество, юность» Л.Н. Толстого; все произведения, принадлежащие такому жанру как «исповедь», включая бл. Августина, А. Мюссе, Ж.-Ж. Руссо, Л.Н. Толстого, Н.А. Бердяева и др.

2. *Несовпадение Г и ГОГ* – внутренний конфликт между героем и его представлениями о его роли с точки зрения окружения. Примерами являются: «Герой нашего времени» М.Ю. Лермонтова (Печорин); «Подросток» Ф.М. Достоевского, «Отец Горио» О. Бальзака (Ростиньяк) и др.

3. *Несовпадение ГГ и ГОГ* – внутренний конфликт между ценностями окружения и героя с точки зрения последнего. Примерами являются: «Преступление и наказание», «Записки из подполья», «Агент», «Бесы» Ф.М. Достоевского; «Княжна Мэри» М.Ю. Лермонтова; «Леди Макбет Мценского уезда» Н.С. Лескова; «Утраченные иллюзии» О. Бальзака; а также большинство маргинальной литературы – де Сад, Г. Миллер, В. Ерофеев и др.

Кроме того, возможны три типа внешних конфликтов:

4. *Несовпадение Г и ОГ* – внешний конфликт между героем и представлениями (требованиями) окружения о нем. Примерами являются: «Горе от Ума» А.С. Грибоедова (Чацкий), «Собор Парижской Богоматери» В. Гюго; многие произведения классической литературы русского и зарубежного реализма: Л.Н. Толстой (например, «Три смерти», «Смерть Ивана Ильича» и др.),

⁵⁰ Авторы признательны проф. Е.В. Жаринову за ценные замечания и помощь в подборе примеров рефлексивных конфликтов в литературных произведениях.

И.С. Тургенев, М.Е. Салтыков-Щедрин, Ж.-Б. Мольер, П. Корнель, Ж. Расин и др.

5. *Несовпадение ГГ и ОГ* – внешний конфликт между представлениями героя о себе и представлениями о нем с точки зрения окружения. Примерами являются: «Евгений Онегин» А.С. Пушкина; «Герой нашего времени» М.Ю. Лермонтова (Грушницкий, Печорин); «Рудин» И.С. Тургенева, «Бельтов» А.И. Герцена и др.

6. *Несовпадение ОГ и ГОГ* – внешний конфликт между представлениями окружения о герое и тем как эти представления видятся самому герою. Примерами являются: «Ревизор» Н.В. Гоголя, (Хлестаков); «Маленькие трагедии» А.С. Пушкина; «Гобсек» О. Бальзака и др.

Перечисленные шесть типов конфликтов типичны для классической литературы. В современной массовой литературе дело, в основном, обстоит несколько проще – подавляющее большинство сюжетов можно отнести к одному из следующих типов – «Детектив», «Шпионские страсти», «Любовный треугольник (или многоугольник)». Приведем примеры соответствующих графов рефлексивной игры.

Пример 14 («Детектив»). Пусть имеются следователь и преступник. Обозначим их, соответственно 1 и 2. Тогда этапу процесса раскрытия преступления соответствует граф рефлексивной игры $2 \leftarrow 1 \leftrightarrow 12$ (компонент 12 соответствует тому, что преступник пытается убедить следователя в собственной невиновности), а факту раскрытия преступления – переход к графу $1 \leftrightarrow 2$.

Возможны и более сложные случаи информированности. Так, например, Смердяков и Иван Федорович (роман «Братья Карамазовы» Ф.М. Достоевского) по-разному информированы относительно убийства своего отца и отношения к этому друг друга. С точки зрения Смердякова ситуация (граф рефлексивной игры) выглядит следующим образом: «Смердяков» \leftarrow «Иван Федорович, желающий смерти отца» \leftrightarrow «Смердяков-убийца», а с точки зрения Ивана Федоровича: «Иван Федорович» \leftarrow «Смердяков-невиновный» \leftrightarrow «Иван Федорович, не желающий смерти отца».

Аналогичная по сложности ситуация имеет место в романе «Преступление и наказание». Раскольников не знает, что следователю известно, что он убийца. Обозначая их, соответственно, 1 и 2, получим, что с точки зрения Раскольникова имеет место

$1 \leftarrow 12 \leftrightarrow 121$, в то время как полный граф рефлексивной игры имеет вид, приведенный на рис. 3.38.

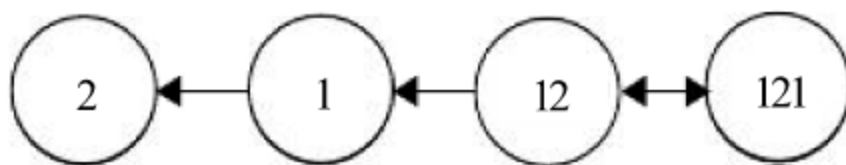


Рис. 3.38. Граф рефлексивной игры в сюжете «Детектив»

Пример 15 («Шпионские страсти-1»). Пусть в ситуации участвуют два государства (A и B) и агент, который, будучи высокопоставленным чиновником государства A является одновременно осведомителем государства B , о чем государству A неизвестно. Граф рефлексивной игры описанной ситуации⁵¹ изображен на рис. 3.39.

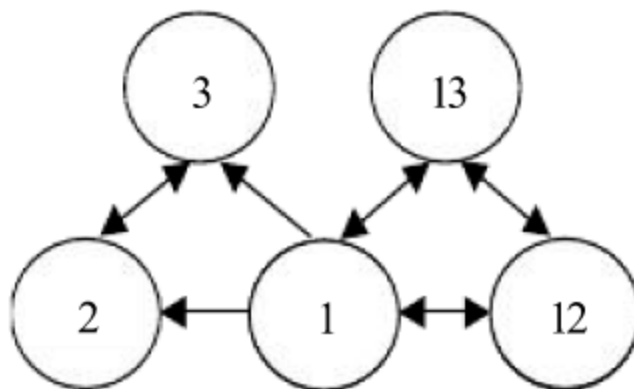


Рис. 3.39. Граф рефлексивной игры в сюжете «Шпионские страсти-1»

Вершинам графа соответствуют следующие реальные и фантомные агенты: 1 – государство A ; 2 – государство B ; 3 – агент; 12 – государство B , которое воспринимает агента как чиновника, верного государству A ; 13 – агент – чиновник, верный государству A . •

Рассмотрим несколько усложненную версию предыдущего сюжета.

Пример 16 («Шпионские страсти-2»). Ситуация похожа на описанную в примере 15, различие в том, что агент на самом деле работает на государство A , а государству B передает лишь соответствующим образом обработанные сведения. Граф рефлексив-

⁵¹ Легко видеть, что аналогичная информированность имеет место и в сюжете «Любовный треугольник».

ной игры для этой, более сложной, ситуации изображен на рис. 3.40.

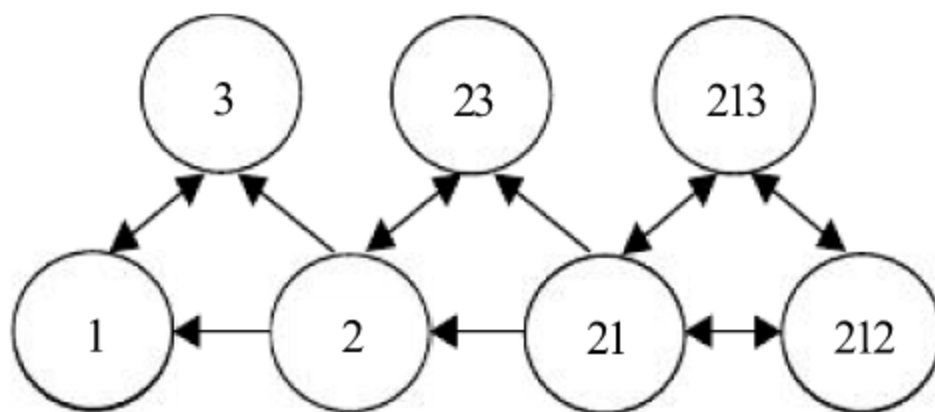


Рис. 3.40. Граф рефлексивной игры в сюжете «Шпионские страсти-2»

Вершинам графа соответствуют следующие реальные и фантомные агенты: 1 – государство A ; 2 – государство B ; 3 – агент; 21 – государство A , которое ошибочно полагает, что агент – его чиновник, не входивший ни в какие контакты с B ; 23 – агент, работающий в пользу государства B ; 212 – государство B , которое не входило ни в какие контакты с агентом – чиновником государства A ; 213 – агент – чиновник, верный государству A и не входивший ни в какие контакты с государством B . •

Отметим, что во всех рассмотренных выше в настоящем разделе примерах ранг рефлексии (который на единицу меньше длины максимальной последовательности индексов) не превышает двух. Более высокие ранги рефлексии в художественных произведениях встречаются чрезвычайно редко, однако их можно найти, о чем свидетельствует следующий пример.

Пример 17. В фильме «Император и убийца» (1999, режиссер – Чен Кайге) описывается ситуация, основными участниками которой являются два человека – китайский император и убийца. Убийцу посылают к императору под видом посла соседнего государства. Император, между тем, осведомлен о том, что посол на самом деле является убийцей. Однако убийца знает о том, что император знает, что он собирается убить его.

Граф рефлексивной игры для этой ситуации изображен на рис. 3.41.

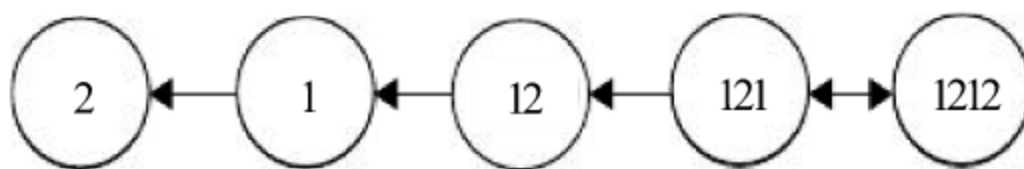


Рис. 3.41. Граф рефлексивной игры в фильме «Император и убийца»

Вершинам графа соответствуют следующие реальные и фантомные агенты: 1 – император; 2 – убийца; 12 – убийца, который считает императора неосведомленным; 121 – император, который считает пришедшего к нему человека послом соседнего государства; 1212 – посол сопредельного государства.

Роль жены императора в интриге фильма читатель может увидеть из графа рефлексивной игры, приведенного на рис. 3.42, в котором она обозначена номером 3.

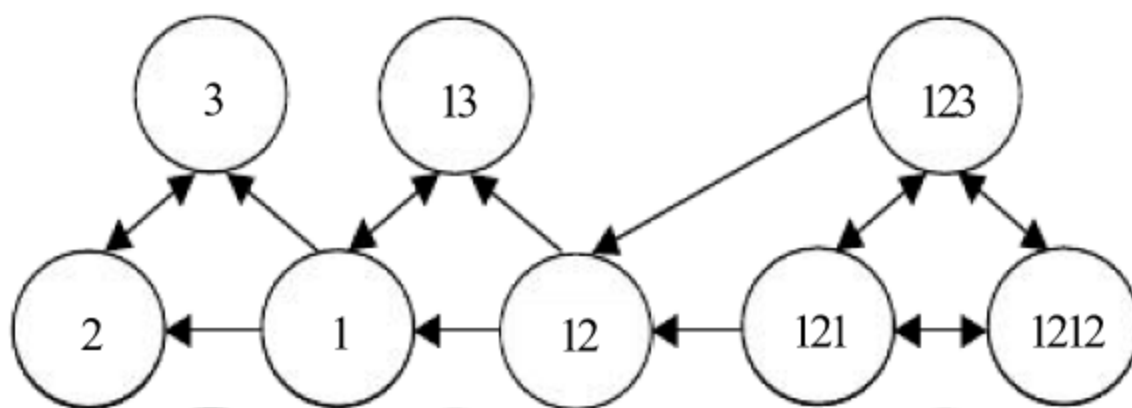


Рис. 3.42. Роль жены императора в фильме «Император и убийца»

В заключение настоящего раздела отметим, что в последнее время наличие нескольких рефлексивных (виртуальных, быть может, вложенных друг в друга) реальностей лежит в основе сюжетов многих художественных фильмов – «Матрица», «13-ый этаж», «Ванильное небо», «Авалон», «Шоу Трумэна» и др. Используя предложенный в настоящей работе подход, читатель без труда построит соответствующие графы рефлексивной игры.

Таким образом, язык графов рефлексивной игры является удобным средством единообразного описания эффектов рефлексии в художественных произведениях.

* * *

Подводя итог рассмотрению прикладных моделей рефлексивных игр, можно сделать вывод, что построение и анализ формальных моделей позволяют систематически и унифицировано (с

единых методологических позиций) формулировать и решать задачи анализа и синтеза эффективных информационных воздействий в самых разных ситуациях коллективной деятельности. Недостатком такого подхода на сегодняшний день является его нормативный характер, то есть отсутствие возможности разработки эффективных технологий информационного управления, которые на сегодняшний день остаются искусством. Применение для этих целей математических моделей представляется перспективной задачей будущих исследований. Вместе с тем следует признать, что в силу отсутствия систематических и полных результатов экспериментальных (а не ретроспективных!) исследований вряд ли можно ожидать существенного прогресса в этой области в ближайшее время.

ЛИТЕРАТУРА К ЧАСТИ 3

1. Автономов В.С. Модель человека в экономической науке. СПб.: Экономическая школа, 1998. – 230 с.
2. Адельсон-Вельский Г.М., Арлазаров В.Л., Донской М.В. Программирование игр. М.: Наука, 1978. – 255 с.
3. Аткинсон Р. Человеческая память и процесс обучения. М.: Прогресс, 1980. – 528 с.
4. Берн Э. Игры, в которые играют люди. Люди, которые играют в игры. М.: Прогресс, 1988. – 400 с.
5. Бирштейн Б.И., Боршевич В.И. Стратегемы рефлексивного управления в западной и восточных культурах // Рефлексивные процессы и управление. 2002. Т. 2. № 1. С. 27 – 44.
6. Бирштейн Б.И., Боршевич В.И. Теория рефлексивности Дж. Сороса: опыт критического анализа // Рефлексивные процессы и управление. 2001. № 1. С. 88 – 101.
7. 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.
8. 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.

9. Бурков В.Н., Кондратьев В.В. Механизмы функционирования организационных систем. М.: Наука, 1981. – 384 с.
10. Бурков В.Н., Новиков Д.А. Теория активных систем: состояние и перспективы. М.: Синтег, 1999. – 128 с.
11. Бэндлер Р., Гриндер Д. Структура магии. СПб.: Издательство «Белый кролик», 1996. – 496 с.
12. Бэндлер Р., Гриндер Д. Из лягушек – в принцы (нейролингвистическое программирование). Екатеринбург, 1998. – 206 с.
13. Варшавский В.И., Поспелов Д.А. Оркестр играет без дирижера. М.: Наука, 1989. – 208 с.
14. Васин А.А., Гурвич В.А. Коалиционные ситуации равновесия в метаиграх / Вестник МГУ. Вычислительная математика и кибернетика. 1980. № 3. С. 38 – 44.
15. Вилкас Э.Й. Оптимальность в играх и решениях. М.: Наука. 1990. – 256 с.
16. Воеводин А.И. Стратегемы – стратегии войны, манипуляции, обмана. М.: Белые альвы, 2002. – 256 с.
17. Волгин Л.Н. Принцип согласованного оптимума. М.: Советское радио, 1977. – 144 с.
18. Гермейер Ю.Б. Игры с непротивоположными интересами. М.: Наука, 1976. – 327 с.
19. Горелик В.А., Кононенко А.Ф. Теоретико-игровые модели принятия решений в эколого-экономических системах. М.: Радио и связь, 1982. – 144 с.
20. Грачев Г., Мельник И. Манипулирование личностью: организация, способы и технологии информационно-психологического воздействия. М.: Институт философии РАН, 1999. – 235 с.
21. Губко М.В., Новиков Д.А. Теория игр в управлении организационными системами. М.: Синтег, 2002. – 148 с.
22. Данилов В.И. Лекции по теории игр. М.: Российская экономическая школа, 2002. – 140 с.
23. Доценко Е.Л. Психология манипуляции: феномены, механизмы и защита. М.: ЧеРо, 2000. – 344 с.
24. Ерешко Ф.И., Лохныгина Ю.В. Рефлексивные стратегии в системах управления / Труды Юбилейной международной научно-практической конференции «Теория активных систем». Об-

щая редакция – В.Н. Бурков, Д.А. Новиков. М.: Синтег, 1999. С. 211–213.

25.Ерешко Ф.И., Лохныгина Ю.В. Исследование моделей рефлексивных стратегий в управляемых системах. М.: ВЦ РАН, 2001. – 37 с.

26.Ерешко Ф.И. Моделирование рефлексивных стратегий в управляемых системах. М.: ВЦ РАН, 2001. – 37 с.

27.Зимбардо Ф., Ляйппе М. Социальное влияние. СПб.: Питер, 2000. – 448 с.

28.Зинченко В.П. Рефлексивные процессы в интернет-взаимодействиях (на примере шахматных игр) // Рефлексивные процессы и управление. 2002. Т. 2. № 1. С. 90 – 95.

29.Информационное общество: Информационные войны. Информационное управление. Информационная безопасность / Под ред. М.А. Вуса. СПб.: Издательство С.-Петербургского университета, 1999. – 212 с.

30.Кабаченко Т.С. Методы психологического воздействия. М.: Педагогическое общество России, 2000. – 544 с.

31.Карнеги Д. Как завоевывать друзей и оказывать влияние на людей. М.: Прогресс, 1989.

32.Клыков Ю.И. Ситуационное управление большими системами. М.: Энергия, 1974. – 136 с.

33.Козелецкий Ю. Психологическая теория решений. М.: Прогресс, 1979. – 504 с.

34.Кононенко А.Ф., Халезов А.Д., Чумаков В.В. Принятие решений в условиях неопределенности. М.: ВЦ АН СССР, 1991. – 197 с.

35.Крогиус Н.В. Личность в конфликте. Саратов: СГУ, 1976. – 144 с.

36.Крогиус Н.В. О психологии шахматного творчества М.: Физкультура и спорт, 1969. – 96 с.

37.Крогиус Н.В. Психология шахматного творчества. М.: Физкультура и спорт, 1981. – 183 с.

38.Крылов В.Ю. Методологические и теоретические проблемы математической психологии. М.: Янус-К, 2000.

39.Кукушкин Н.С., Морозов В.В. Теория неантагонистических игр. М.: МГУ, 1984. – 104 с.

40. Кукушкин Н.С. Роль взаимной информированности сторон в играх двух лиц с непротивоположными интересами // ЖВМ и МФ. 1972. Т. 12. № 4. С. 1029 – 1034.

41. Кульба В.В., Малюгин В.Д., Шубин А.Н., Вус М.А. Введение в информационное управление. С.Пб.: Изд-во С.-Петербургского Университета, 1999. – 116 с.

42. Лефевр В.А. Исходные идеи логики рефлексивных игр / Материалы конференции «Проблемы исследования систем и структур». М.: Издание АН СССР, 1965.

43. Лефевр В.А. Конфликтующие структуры. М.: Советское радио, 1973. – 158 с.

44. Лефевр В.А. Комический субъект. М.: Институт психологии РАН, 1997.

45. Лефевр В.А. Логика рефлексивных игр и рефлексивное управление / Принятие решений человеком. Тбилиси: Мецниереба, 1967.

46. Лефевр В.А. Формула человека. Контурь фундаментальной психологии. М.: Прогресс, 1991. – 108 с.

47. Лефевр В.А. Элементы логики рефлексивных игр / Проблемы инженерной психологии. Вып. 4. Ленинград, 1966. С. 273 – 299.

48. Льюс Р., Райфа Х. Игры и решения. М.: Изд-во Иностран. Лит., 1961 – 642 с.

49. Лэйн Р. Я и другие. М.: Эксмо-пресс, 2002. – 304 с.

50. Майерс Д. Социальная психология. СПб.: Питер, 1998. – 688 с.

51. Малявин В.В. (перевод с кит.) Тридцать шесть стратагем. М.: Белые альвы, 2000.

52. Миркин Б.Г. Проблема группового выбора. М.: Наука, 1974. – 256 с.

53. Нейман Дж. фон, Моргенштерн О. Теория игр и экономическое поведение. М.: Наука, 1970. – 708 с.

54. Нижегородцев Р.М. Теоретические основы информационной экономики. Владикавказ: Проект-Пресс, 1998. – 248 с.

55. Новиков А.М. Методология образования. М.: Эгвес, 2002. – 320 с.

56. Новиков Д.А. Механизмы стимулирования в динамических и многоэлементных социально-экономических системах // Автоматика и Телемеханика. 1997. № 6. С. 3 – 26.

- 57.Новиков Д.А. Механизмы функционирования многоуровневых организационных систем. М.: Фонд «Проблемы управления», 1999. – 150 с.
- 58.Новиков Д.А., Петраков С.Н. Курс теории активных систем. М.: Синтег, 1999. – 108 с.
- 59.Новиков Д.А. Стимулирование в социально-экономических системах (базовые математические модели). М.: ИПУ РАН, 1998. – 216 с.
- 60.Новиков Д.А., Цветков А.В. Механизмы функционирования многоэлементных организационных систем. М.: ИПУ РАН, 2001. – 188 с.
- 61.Новиков Д.А., Цветков А.В. Механизмы функционирования организационных систем с распределенным контролем. М.: ИПУ РАН, 2001. – 118 с.
- 62.Новиков Д.А., Чхартишвили А.Г. Активный прогноз. М.: ИПУ РАН, 2002. – 101 с.
- 63.Опойцев В.И. Равновесие и устойчивость в моделях коллективного поведения. М.: Наука, 1977. – 248 с.
- 64.Орловский С.А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации. М.: Наука, 1981. – 206 с.
- 65.Оуэн Г. Теория игр. М.: Мир, 1971. – 230 с.
- 66.Охрименко В.В. Простая модель экономической динамики со спекуляциями. М.: ВЦ РАН, 2002. – 31 с.
- 67.Петровский В.А. Опыт событийной транскрипции в рефлексии // Рефлексивные процессы и управление. 2001. № 1. С. 61 – 70.
- 68.Петросян Л.А., Зенкевич Н.А., Семина Е.А. Теория игр. М.: Высшая школа, 1998. – 304 с.
- 69.Пиз А. Язык телодвижений. Н. Новгород: Ай кью, 1992.
- 70.Пиндайк Р., Рубинфельд Д. Микроэкономика. М.: Дело, 2001 – 808 с.
- 71.Поддъяков А.Н. Исследовательское поведение: стратегии познания, помощь, противодействие, конфликт. Фак-т психологии МГУ им. М.В. Ломоносова, 2002. – 189 с.
- 72.Поспелов Д.А. Игры рефлексивные / Энциклопедия кибернетики. Т. 1. Киев: Гл. редакция УСЭ, 1974. С. 343.
- 73.Поспелов Д.А. Моделирование рассуждений. Опыт анализа мыслительных актов. М.: Радио и связь, 1989.

- 74.Поспелов Д.А. Ситуационное управление: теория и практика. М.: Наука, 1986. – 288 с.
- 75.Почепцов Г.Г. Информационно-психологическая война. М.: Синтег, 2000. – 180 с.
- 76.Психологический словарь / Под ред. В.П. Зинченко. М.: Педагогика-пресс, 1996. – 400 с.
- 77.Саймон Г. Науки об искусственном. М.: Мир, 1972. – 147 с.
- 78.Советский энциклопедический словарь М.: Советская энциклопедия, 1988.
- 79.Сорос Д. Алхимия финансов. М.: ИНФРА-М, 1999. – 416 с.
- 80.Сэндидж Ч., Фрайбургер В., Ротцолл К. Реклама: теория и практика. М.: Прогресс, 1989.
- 81.Таран Т. Логические модели рефлексивного выбора // Автоматика и Телемеханика. 2001. № 10. С. 103 – 117.
- 82.Таран Т.А. Рефлексивные модели в системах поддержки принятия решений / Труды 2-й Международной конференции «Когнитивный анализ и управление развитием ситуаций». М.: ИПУ РАН, 2002. Том 2. С. 117 – 135.
- 83.Томас Т.Л. Рефлексивное управление в России: теория и военные приложения // Рефлексивные процессы и управление. 2002. Т. 2. № 1. С. 71 – 89.
- 84.Философский энциклопедический словарь. М.: Советская энциклопедия, 1983.
- 85.Харрис Р. Психология массовых коммуникаций. СПб.: Прайм-Еврознак, 2002. – 448 с.
- 86.Харшаньи Д., Зельтен Р. Общая теория выбора равновесия в играх. СПб.: Экономическая школа, 2001. – 405 с.
- 87.Хёйзинга Й. Homo ludens. В тени завтрашнего дня. М.: Прогресс, 1992. – 464 с.
- 88.Чалдини Р. Психология влияния. СПб.: Питер, 2001. – 288 с.
- 89.Чхартишвили А.Г. Информационное равновесие / Управление большими системами. Сборник трудов молодых ученых. Общая редакция – Д.А. Новиков. Выпуск 3. М.: ИПУ РАН, 2003. С. 100 – 119.
- 90.Шейнов В.П. Психология обмана и мошенничества. М.: ООО «Издательство АСТ», 2002. – 512 с.
- 91.Шейнов В.П. Скрытое управление человеком (психология манипулирования). М.: ООО «Издательство АСТ», 2002. – 848 с.

92. Шеманов А.Ю. Самоидентификация на пороге «осевых времен» (к интерпретации модели рефлексии В. Лефевра) / От философии жизни к философии культуры. СПб., 2001. С. 137 – 158.
93. Шибутани Т. Социальная психология. Ростов-на-Дону: Феникс, 1998. – 544 с.
94. Щедровицкий Г.П. Принципы и общая схема методологической организации системно-структурных исследований и разработок / Системные исследования. М., 1981. С. 193 – 227.
95. Ambroszkiewicz S. On the concepts of rationalizability in games // *Annals of Operations Research*. 2000. № 97. P. 55 – 68.
96. Aumann R.J. Agreeing to disagree // *The Annals of Statistics*. 1976. Vol. 4. № 6. P. 1236 – 1239.
97. Aumann R.J., Brandenburger A. Epistemic conditions for Nash equilibrium // *Econometrica*. 1995. Vol. 63. № 5. P. 1161 – 1180.
98. Aumann R.J., Heifetz A. Incomplete information . *Handbook of Game Theory*. Vol III. Chapter 43. Amsterdam, Elsevier (forthcoming).
99. Aumann R.J. Interactive epistemology I: Knowledge // *International Journal of Game theory*. 1999. № 28. P. 263 – 300.
100. Bernheim D. Rationalizable strategic behavior // *Econometrica*. 1984. № 5. P. 1007 – 1028.
101. Brams S.J. *Theory of moves*. Cambridge: Univ. of Cambridge, 1995. – 248 p.
102. Brandenburger A., Dekel E. Hierarchies of beliefs and common knowledge // *Journal of Economic Theory*. 1993. Vol. 59. P. 189 – 198.
103. Camerer C., Weigelt K. Information mirages in experimental asset markets // *Journal of Business*. 1991. Vol. 64. P. 463 – 493.
104. Clark H.H., Marshall C.R. Definite reference and mutual knowledge / *Elements of Discourse Understanding* (ed. By A.K. Joshi, B.L. Webber, I.A. Sag). Cambridge: Cambridge University Press, 1981.
105. Fagin R., Geanakoplos J., Halpern J.Y., Vardi M.Y. The hierarchical approach to modeling knowledge and common knowledge // *International Journal of Game Theory*. 1999. Vol. 28. P. 331 – 365.
106. Fagin R., Halpern J., Moses Y., Vardi M.Y. *Reasoning about knowledge*. Cambridge: MIT Press, 1995.

107. Fagin R., Halpern J., Moses Y., Vardi M.Y. Common knowledge revisited // *Annals of Pure and Applied Logic*. 1999. Vol. 96. P. 89 – 105.

108. Fagin R., Halpern J., Vardi M.Y. A model-theoretic analysis of knowledge // *Journal of Assoc. Comput. Mach.* 1991. Vol. 38. № 2. P. 382 – 428.

109. Fudenberg D., Tirole J. *Game theory*. Cambridge: MIT Press, 1995. – 579 p.

110. Gamov G., Stern M. *Puzzle Math*. N.Y.: Viking Press, 1958.

111. Geanakoplos J. Common Knowledge / *Handbook of Game Theory*. Vol. 2. Amsterdam: Elsevier, 1994. P. 1438 – 1496.

112. Gray J. Notes on database operating system / *Operating Systems: An Advanced Course. Lecture Notes in Computer Science*. Vol. 66. Berlin: Springer, 1978.

113. Halpern J., Moses Y.O. Knowledge and common knowledge in a distributed environment // *Journal of Assoc. Comput. Mach.* 1990. Vol. 37. № 3. P. 549 – 587.

114. Harsanyi J. Games with incomplete information played by "Bayesian" players // *Management Science*. Part I: 1967. Vol. 14. № 3. P. 159 – 182. Part II: 1968. Vol. 14. № 5. P. 320 – 334. Part III: 1968. Vol. 14. № 7. P. 486 – 502.

115. Heifetz A. Iterative and fixed point belief // *Journal of Philosophical Logic*. 1999. Vol. 28. P. 61 – 79.

116. Hintikka J. *Knowledge and belief*. Ithaca: Cornell University Press, 1962.

117. Howard N. Theory of meta-games / *General systems*. 1966. № 11. P. 187 – 200.

118. Howard N. "General" metagames: an extension of the meta-game concept / *Game theory as a theory of conflict resolution*. Dordrecht: Reidel, 1974. P. 258 – 280.

119. Kripke S. A completeness theorem in modal logic // *Journal of Symbolic Logic*. 1959. № 24. P. 1 – 14.

120. Lefebvre V.A. *Algebra of Conscience*. Dordrecht, Holland: Reidel, 1982.

121. Lefebvre V.A. *Psychological theory of bipolarity and reflexivity*. Levinston: The Edwin Mellen Press, 1992.

122. Lefebvre V.A. Sketch of reflexive game theory / *Proc. Of Workshop on Multi-Reflexive Models of Agent Behavior*. Los Alamos, New Mexico, USA, 1998. P. 1 – 44.

123. Lewis D. Convention: a philosophical study. Cambridge: Harvard University Press, 1969.
124. Luft J. On Human interaction. Palo Alto, CA: National Press, 1969. – 177 p.
125. Luft J., Ingham H. The Johari window: a graphic model for interpersonal relations. University of California: Western Training Lab, 1955.
126. Mas-Collel A., Whinston M.D., Green J.R. Microeconomic theory. N.Y.: Oxford Univ. Press, 1995. – 981 p.
127. McCarthy J., Sato M., Hayashi T., Igarishi S. On the model theory of knowledge. Technical Report STAN-CS-78-657. Stanford University, 1979.
128. Mertens J.F., Zamir S. Formulation of Bayesian analysis for games with incomplete information // International Journal of Game Theory. 1985. № 14. P. 1–29.
129. Miller G. The magical number seven plus or minus two: some limits on capacity for information processing // Psychological Review. 1956. Vol. 63. № 1. P. 81 – 92.
130. Morris S. Approximate common knowledge revisited // International Journal of Game Theory. 1999. Vol. 28. P. 385 – 408.
131. Morris S., Shin S.S. Approximate common knowledge and coordination: recent lessons from game theory // Journal of Logic, Language and Information. 1997. Vol. 6. P. 171 – 190.
132. Myerson R.B. Game theory: analysis of conflict. London: Harvard Univ. Press, 1991. – 568 p.
133. Nagel R. Experimental results on interactive competitive guessing // American Economic Review. 1995. Vol. 85. № 6. P. 1313 – 1326.
134. Nash J.F. Non-cooperative games / Ann. Math. 1951. Vol. 54. P. 286 – 295.
135. Pearce D.G. Rationalizable strategic behavior and the problem of perfection // Econometrica. 1984. № 5. 1029 – 1050.
136. Rapoport A., Guyer M. A taxonomy of 2x2 games / General Systems: Yearbook of the Society for General Systems Research. 1966. № 11. P. 203 – 214.
137. Ross L., Greene D., House P. The “false consensus” effect: an egocentric bias in social perception and attribution // Journal of Experimental Social Psychology. 1977. Vol. 13. P. 279 – 301.

138. Rubinstein A. The electronic mail game: strategic behavior under “almost common knowledge” // *American Economic Review*. 1989. Vol 79. P. 385 – 391.

139. Sakovics J. Games of incomplete information without common knowledge priors // *Theory and decision*. 2001. № 50. P. 347 – 366.

140. Simon R.S. The difference of common knowledge of formulas as sets // *International Journal of Game Theory*. 1999. Vol. 28. P. 367 – 384.

141. Stahl D.O., Wilson P.W. Experimental evidence on players’ models of other players // *Journal of Economic Behavior and Organization*. 1994. Vol. 25. P. 309 – 327.

142. Vanderschraaf P. Knowledge, equilibrium and conventions // *Erkenntnis*. 1998. Vol. 49. P. 337 – 369.

143. Weber R. Behavior and learning in the “Dirty Face” game // *Experimental Economics*. 2001. Vol. 4. P. 229 – 242.

144. Wolter F. First order common knowledge logics // *Studia Logica*. 2000. Vol. 65. P. 249 – 271.

ЧАСТЬ 4. МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ В ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Четвертая часть настоящей работы посвящена математическим моделям управления *эколого-экономическими системами* (ЭкЭС), под которыми будем понимать¹ «совокупность взаимосвязанных экономических, технических, социальных и природных факторов в окружающем человека мире» [12], «интеграцию экономики и природы, представляющую собой взаимосвязанное и взаимообусловленное функционирование производства и протекание естественных процессов в природе» [69].

*Экологические системы*² [120, 129] являются предметом исследований различных отраслей науки: биологии, медицины, физики, химии, математики, экономики, социологии. В последнее время, в качестве самостоятельного раздела менеджмента стал выделяться *экологический менеджмент* [4, 5, 41, 71, 89, 125, 130, 181]. Более общим (по соотношению к ЭкЭС) является понятие социально-эколого-экономической системы [81] – см. рис. 4.1. С этой точки зрения экологические, экономические, организационные и социальные системы, а также социально-экономические, эколого-экономические и др. системы являются подсистемами социально-эколого-экономической системы. В настоящей работе рассматривается комбинация элементов «государство – экономика – природа». При этом государство считается выразителем социальных и «эколого-биологических» потребностей и интересов общества и личности, а экономика – выразителем экономических интересов личности.

¹ На сегодняшний день не существует общепринятого определения «эколого-экономической системы», тем не менее, все известные определения достаточно близки по своей сути.

² Термин «экология» был введен Эрнстом Геккелем в 1866 г. для обозначения науки о взаимодействиях организма и среды. В современной экологии можно выделить, как минимум, две группы задач и соответствующие им подходы: популяционный подход – изучение механизмов, определяющих распространение организмов, их обилие и его изменение во времени; экосистемный подход – изучение протекающих с участием организмов процессов трансформации вещества и энергии в экосистемах и биосфере.

Как и к любой сложной системе, к ЭкЭС применимы множество методов исследования. Ниже используется такой метод, как моделирование, причем объектом моделирования являются механизмы управления ЭкЭС. В силу чрезвычайной важности этих двух понятий – «модель» и «механизм», остановимся на них более подробно.



Рис. 4.1. Субъекты социально-эколого-экономической системы

Совокупность процедур и правил, регламентирующих взаимодействие участников некоторой (организационной, социально-экономической, эколого-экономической) системы называется *механизмом её функционирования* – см. [98] (механизм – «система, устройство, определяющее порядок какого-либо вида деятельности» [Словарь иностранных слов. – М.: Русский язык, 1982. – с. 283]). Более узким является понятие *механизма управления* – совокупности процедур принятия управленческих решений. Таким образом, механизмы функционирования и механизмы управления определяют, как ведут себя участники³, и как они принимают решения. Отметим, что в соответствии с [116, Ст. 2.3], одна из функций органов государственной власти – «разработка и внедрение экономических механизмов охраны окружающей природной среды в целях стимулирования рационального природопользования».

Наличие в системе определенной совокупности конкретных механизмов управления привлекательно как с точки зрения управ-

³ С этой точки зрения механизм управления можно рассматривать как синоним метода управления, так как и тот, и другой определяют, как осуществляется управление.

ляющего органа – так как позволяет предсказать поведение управляемых субъектов, так и с точки зрения управляемых субъектов – так как делает предсказуемым поведение управляющего органа. То есть, снижение неопределенности за счет использования механизмов управления является одним из существенных свойств любой организованной системы.

Для того чтобы управляющий орган выбрал ту или иную процедуру принятия решений (тот или иной механизм управления, то есть зависимость своих действий от целей системы и действий управляемых субъектов), он должен уметь предсказывать поведение «подчиненных» – их реакцию на те или иные управляющие воздействия. Экспериментировать в жизни, применяя различные управляющие воздействия и изучая реакции управляемой системы, не эффективно и практически никогда не представляется возможным. Здесь на помощь приходит *моделирование* – метод исследования, заключающийся в построении и анализе моделей⁴ – аналогов исследуемых объектов. Имея адекватную модель, можно с ее помощью проанализировать реакции управляемой системы (этап анализа), а затем выбрать (на этапе синтеза) и использовать на практике то управляющее воздействие, которое приводит к требуемой реакции.

Функции моделирования (дескриптивная, прогностическая и нормативная) совпадают с функциями научного знания [35].

Дескриптивная функция моделирования заключается в том, что за счет абстрагирования модели позволяют достаточно просто объяснить наблюдаемые на практике явления и процессы (другими словами, они дают ответ на вопрос «почему мир устроен так»). Успешные в этом отношении модели становятся компонентами научных теорий и являются эффективным средством отражения содержания последних (поэтому *познавательную функцию* моделирования можно рассматривать как составляющую дескриптивной функции).

Прогностическая функция моделирования отражает его возможность предсказывать будущие свойства и состояния моделируемых систем, то есть отвечать на вопрос «что будет?».

⁴ Модель – образ некоторой системы; аналог (схема, структура, знаковая система) определенного фрагмента природной или социальной реальности, «заместитель» оригинала в познании и практике [Философский энциклопедический словарь. – М.: Сов. Энциклопедия, 1983. – с. 382].

Нормативная функция моделирования заключается в получении ответа на вопрос «как должно быть?» – если, помимо состояния системы, заданы критерии оценки ее состояния, то за счет использования оптимизации возможно не только описать существующую систему, но и построить ее нормативный образ – желательный с точки зрения субъекта, интересы и предпочтения которого отражены используемыми критериями.

Нормативная функция моделирования тесно связана с решением задач *управления*, то есть, с ответом на вопрос «как добиться желаемого (состояния, свойств системы и т.д.)?».

Завершив краткое обсуждение определений и функций моделей и механизмов, перейдем к описанию **базовой модели эколого-экономической системы** – см. рис. 4.2. Данная модель включает три типа участников ЭкЭС: управляющие органы (называемые в дальнейшем «*центр*»); экономические агенты (называемые в дальнейшем «*предприятие*»); *окружающая среда*.⁵

Управляющие органы заинтересованы как в «экономических» достижениях управляемых предприятий, так и в обеспечении требуемого уровня безопасности (или минимизации до требуемых границ уровня риска и т.д.). Их возможности заключаются в установлении условий деятельности предприятий (назначении штрафов, предоставлении льгот и т.д. – см. ниже).

На качественном уровне задача управляющих органов заключается в выборе таких условий деятельности предприятий, которые побуждали бы последних выбирать действия, приводящие к наиболее выгодным для управляющих органов результатам.

С точки зрения задач управления, специфика ЭкЭС заключается, в том числе, в следующем:

- результаты деятельности управляемых субъектов многоаспектны (имеются, как минимум, две составляющих результатов – «экономическая» и «экологическая») и подвержены воздействию множества неконтролируемых, неопределенных и случайных факторов;
- интересы различных управляющих органов могут не только не совпадать с интересами предприятий, но и противоречить друг другу;

⁵ «Границы» системы определяются выбранным масштабом рассмотрения – объектовым, территориальным, региональным и т.д.



Рис. 4.2. Структура базовой модели ЭкЭС

- затраты на регулярное получение достоверной и полной информации достаточно велики;

- ЭкЭС не могут самостоятельно отстаивать свои интересы, их реакция носит инерционный характер и происходит с задержкой [140];

- существенными, а во многом и решающими, являются институциональные ограничения (нормативно-правовая база) деятельности предприятий и их взаимодействия с управляющими органами.

Перечисленные характеристические особенности ЭкЭС требуют своего учета при разработке соответствующих механизмов управления (см. модели во второй и третьей главах).

Итак, можно перечислить ключевые отличия принятых ниже подходов⁶ от:

- экологии – считается известной зависимость состояния окружающей среды от воздействующих на нее результатов ПХД;

⁶ С методической точки зрения можно также выделить стремление к получению, быть может иногда в ущерб общности, аналитических результатов с прозрачными содержательными интерпретациями.

- менеджмента – рассматриваются формальные модели;
- экологического мониторинга – система мониторинга и обработки его результатов считается фиксированной и досточной для принятия управленческих решений (за исключением аспектов достоверности информации, исследуемых в настоящей работе при разработке неманипулируемых механизмов);
- теории управления социально-экономическими и организационными системами – учитываются не только результаты ПХД, но и состояние окружающей среды, обусловленное этими результатами (если на рис. 4.2 «отбросить» окружающую среду и не учитывать ее состояние, то получим структуру системы управления, традиционную для теории управления организационными системами – см. [98]).

Несмотря на то, что в настоящей работе строятся и анализируются и оптимизационные, и теоретико-игровые, и имитационные модели, основным инструментом исследования является *теория игр* [34, 52, 111, 167, 174], в основном – *иерархические игры* [39, 45, 46, 66].

На сегодняшний день известны следующие основные российские научные школы, развивающие теоретико-игровые модели механизмов управления ЭкЭС: ВЦ РАН [39, 45, 46, 66, 82, 85, 111]; ВЦ СО РАН и ИДСТУ РАН [36, 62, 67, 78-80, 161, 182]; ИПУ РАН [13, 17, 19, 30-32, 60, 61, 94-96, 101-104, 157-159]; Ростовский государственный (ныне Южный федеральный) университет [47, 48, 135-140, 145]; Санкт-Петербургский государственный университет [109-111].

Первоначальное впечатление об этом направлении заинтересованный читатель может получить, ознакомившись с монографиями [17, 46, 79, 109, 140], в которых рассмотрены теоретико-игровые и динамические оптимизационные модели стимулирования природоохранной деятельности, стимулирования снижения вредных выбросов предприятий, частичной компенсации природоохранных затрат, планирования производства, нормирования выбросов, распределения ущерба от загрязнений, объединения усилий при проведении природоохранных мероприятий и др. Тесно связанными с моделями механизмов управления ЭкЭС являются следующие классы моделей:

- модели региональных ЭкЭС, которые, как правило, включают блоки, описывающие (как по отдельности, так и во взаимодействии)

вии) водные, воздушные, земельные и биологические ресурсы [47, 79, 81, 131, 140];

- модели *мониторинга* [56, 79, 119, 136], включая как его нормативную базу, так и соответствующие механизмы, которые должны учитывать и затраты на получение информации [102, 104], и возможность сознательного искажения последней заинтересованными субъектами [23, 102];

- *имитационные модели*, в том числе – использующие аппарат эволюционных игр [34, 168];

- динамические, оптимизационные и имитационные модели экологических систем [48, 67, 74, 75, 80, 91, 107, 114, 126, 127, 133], в том числе – модели распространения загрязнений (переноса и диффузии) [73, 109, 127, 131];

- модели влияния окружающей среды на здоровье человека и, в более общем случае, социальные аспекты природоохранной деятельности [67, 78, 112, 107, 124, 131];

- математические модели биологических систем и их элементов [37, 74, 75, 76, 80, 107, 127].

Будущая интеграция перечисленных классов моделей является, несомненно, перспективной и актуальной задачей.

Классификация механизмов управления и структура изложения. Анализ отечественного и зарубежного опыта в области разработки и применения организационных и экономических механизмов управления риском/безопасностью⁷ показывает, что существует достаточно большое число механизмов, направленных на снижение уровня риска (возникновения ЧС, неблагоприятного воздействия на природную среду и т.д.) [17, 30]. Все эти механизмы можно разделить на несколько групп. Каждая группа включает в себя ме-

⁷ Следует сделать важное методическое замечание: термины «риск» и «безопасность» во многом являются «двойственными» или даже функционально связанными (например, рост уровня риска приводит к снижению уровня безопасности, и наоборот). Поэтому большинство рассматриваемых ниже механизмов управления могут интерпретироваться и как механизмы управления риском, и как механизмы управления безопасностью. Более того, авторы надеются, что использование для обозначения уровня риска и уровня безопасности одной и той же переменной (см. Приложение 2) не только не приводит к путанице, но иллюстрирует тесную взаимосвязь этих двух базовых для эколого-экономических систем понятий.

ханизмы, имеющие общие принципиальные особенности и отличающиеся друг от друга лишь некоторыми модификациями.

При исследовании механизмов управления уровнем риска (безопасности) будем считать, как это принято в *теории активных систем* [16, 20, 26, 27], что структура ЭкЭС, в которой действует механизм, является двухуровневой (см. рис. 4.2). Верхний уровень занимает орган управления (как производственной, хозяйственной и иной деятельностью управляемых субъектов, так и уровнем безопасности/риска) – природоохранный орган, орган муниципальной, региональной или федеральной власти. Кроме того, на верхнем уровне могут находиться одна или несколько страховых организаций. Нижний уровень этой системы занимают объекты, деятельность которых несет в себе потенциальную угрозу возникновения ЧС. Эти объекты, несмотря на их потенциально разнообразную экономическую и организационно-правовую природу, будем в дальнейшем условно называть «*предприятия*».

Перечислим основные организационные и экономические механизмы управления уровнем природно-техногенного риска (обеспечения безопасности) в ЭкЭС [17, 31, 101, 103]. Структура системы этих механизмов приведена на рис. 4.3. Как видно из рис. 4.3, особую роль играют **механизмы комплексного оценивания уровня риска/безопасности**. Это связано с тем, что параметры всех механизмов управления должны настраиваться в зависимости от наблюдаемого или измеряемого уровня риска (уровня безопасности). Оценка уровня безопасности (уровня риска) играет центральную роль при определении норм, квот, штрафов в механизмах экономической ответственности, при определении страховых взносов в механизмах страхования, при разработке планов формирования централизованных фондов и распределении бюджетных средств, наконец, при определении налоговой политики и политики льготного кредитования.

Дадим краткую характеристику основных классов механизмов.

Механизмы экономической ответственности. Эта группа механизмов включает систему стандартов (норм, нормативов, квот), отклонение от которых ведет к определенным экономическим санкциям (от штрафов до остановки производства, запрещения строительства и др.). Соответствующие стандарты касаются, в первую очередь, применяемых технологий производства (или строительства), организационно-технических мер по обеспечению безо-

пасности производства, ограничений на предельно допустимые концентрации, выбросы или сбросы.

К этой же группе механизмов целесообразно отнести *механизмы экспертизы* (проектов, предприятий), в которых оценка уровня безопасности (риска) производится экспертной комиссией, и экономическая ответственность определяется в зависимости от результатов экспертизы.



Рис. 4.3. Структура системы организационных и экономических механизмов управления риском/безопасностью в ЭкЭС

Важный класс составляют механизмы возмещения ущерба, в которых экономическая ответственность прямо связана с величиной ущерба от возникновения чрезвычайной ситуации.

К механизмам экономической ответственности относятся рассматриваемые в настоящей работе *механизмы штрафов* (раздел 2.1), *механизмы платы за риск* (разделы 2.2, 3.2 и 4.2), *механизмы*

аудита (раздел 2.6) – см. табл. 4.1, в которой в столбцах перечислены группы механизмов (и, соответственно, решаемые ими задачи), в строках – конкретные механизмы, рассматриваемые в настоящей работе (в скобках указаны номера разделов), на пересечении соответствующих строки и столбца стоит «+», если механизм принадлежит соответствующему классу, или «●», если механизм может быть использован при решении соответствующих задач.

Механизмы стимулирования снижения уровня риска. Сюда относятся механизмы льготного налогообложения, а также льготного кредитования мероприятий по повышению уровня безопасности (снижения риска) [22, 40, 132]. К механизмам стимулирования снижения уровня риска относятся рассматриваемые в настоящей работе механизмы *финансирования снижения уровня риска* (разделы 2.3, 3.3, 4.3 и 4.4), механизмы *компенсации затрат* на снижение уровня риска (разделы 2.4, 3.4 и 4.5), механизмы *снижения ожидаемого ущерба* (раздел 2.7), механизмы *экономической мотивации* (раздел 3.7) и отчасти механизмы *согласования интересов органов управления* (раздел 3.8).

Механизмы перераспределения риска. В основном, это – механизмы страхования (государственное, независимое и взаимное страхование). Одной из важнейших проблем, возникающих при разработке механизмов страхования – это разработка процедур определения страховых тарифов [1, 23, 88]. К механизмам перераспределения риска относятся рассматриваемые в настоящей работе механизмы *страхования* (разделы 2.5 и 3.6) и отчасти – механизмы *экономической мотивации* (раздел 3.7) и механизмы *оптимизации региональных программ* (разделы 1.3 и 3.1).

Механизмы резервирования на случай чрезвычайных ситуаций. Сюда относятся механизмы образования резервов трудовых ресурсов (пожарные, спасатели и др.), материальных ресурсов (запасы продовольствия, сырья, медикаментов, транспорт и др.), мощностей для быстрой организации производства продукции, необходимой для ликвидации или уменьшения потерь от чрезвычайных ситуаций.

Т а б л и ц а 4.1. Комплекс механизмов управления ЭкЭС

Классы механизмов	Механизмы комплексного оценивания	Механизмы экономической ответственности	Механизмы стимулирования снижения уровня риска	Механизмы перераспределения риска	Механизмы резервирования	Механизмы формирования и использования централизованных фондов	Механизмы управления региональными программами
Механизмы							
Механизмы комплексного оценивания интегрального риска и ущерба (1.2, 1.3)	+	•	•	•	•	•	•
Механизмы штрафов (2.1)		+	•				•
Механизмы платы за риск (2.2, 3.2, 4.2)		+	•				•
Механизмы финансирования снижения уровня риска (2.3, 3.3, 4.3, 4.4)			+	•		+	•
Механизмы компенсации затрат на снижение уровня риска (2.4, 3.4, 4.5)			+	•			•
Механизмы продажи квот на уровень риска (3.5, 4.6)			•	+		•	•
Механизмы страхования (2.5, 3.6)				+	•		•
Механизмы аудита (2.6)	+					•	•
Механизмы снижения ожидаемого ущерба (2.7)			+				•
Механизмы экономической мотивации (3.7)			+	•		+	•
Механизмы оптимизации региональных программ (1.3, 3.1)			•	•		•	+
Механизмы согласования интересов органов управления (3.8)			+			•	+

В отличие от предыдущих классов механизмов, направленных в основном на повышение уровня безопасности или снижение риска, механизмы резервирования направлены на создание условий для скорейшей ликвидации чрезвычайной ситуации и уменьшения потерь от нее. К механизмам резервирования можно условно отнести

рассматриваемые в настоящей работе *механизмы страхования* (разделы 2.5 и 3.6).

Механизмы формирования и использования централизованных фондов. Здесь зачастую на первый план выходит проблема не формирования фонда, а его эффективного распределения [17, 92, 132].

К механизмам формирования и использования централизованных фондов относятся рассматриваемые в настоящей работе *механизмы финансирования снижения уровня риска* (разделы 2.3, 3.3, 4.3 и 4.4) и *механизмы экономической мотивации* (раздел 3.7).

И, наконец, при разработке **механизмов управления региональными программами** могут использоваться все механизмы, в первую очередь – *механизмы оптимизации региональных программ* снижения уровня риска (разделы 1.3 и 3.1) и *механизмы согласования интересов органов управления* (раздел 3.8) – см. табл. 4.1.

В качестве отступления отметим, что в [135, 145, 146] выделены три метода управления ЭкЭС:

- принуждение (то есть, установление ограничений, сильных штрафов и т.п. – *институциональное управление* в соответствии с терминологией работы [98]),

- побуждение (*мотивационное управление* в соответствии с терминологией работы [98]);

- убеждение (воздействие, приводящее в условиях возможности перераспределения выигрышей к выгодности кооперативного поведения, выбору участниками ЭкЭС оптимальных по Парето действий, совпадению их интересов и т.д.).

Рассматриваемые в настоящей работе различные механизмы с той или иной степенью используют все три перечисленных метода.

В первой главе обсуждаются общие проблемы управления уровнем риска в ЭкЭС, приводятся структура возможного ущерба от чрезвычайных ситуаций и краткий обзор методов оценки уровня риска. Значительное внимание уделяется механизмам комплексного оценивания интегрального риска и ущерба и механизмам оптимизации программ снижения уровня риска.

Во второй главе описаны механизмы управления (см. табл. 4.1) на уровне предприятия, в третьей главе – на уровне региона. В четвертой главе приводятся имитационные модели (результаты проведения деловых и имитационных игр) некоторых механизмов.

ГЛАВА 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В настоящей главе рассматриваются общие проблемы управления уровнем риска в эколого-экономических системах: в разделе 1.1 описываются природные и техногенные риски и приводится структура возможного ущерба от чрезвычайных ситуаций; в разделе 1.2 приводится краткий обзор методов оценки уровня риска; раздел 1.3 посвящен механизмам оптимизации программ снижения интегрального уровня риска.

1.1. ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНОГЕННЫЕ РИСКИ

В арабском языке «*риск*» означает что-либо случайное, что дается богом и что может принести пользу (прибыль). Латинское слово *risicum* первоначально относилось к испытанию, которому подвергается моряк, преодолевая рифы [179]. Но во всех этих случаях риск, так или иначе, связан со случайными событиями и неопределенными последствиями [121]. В средние века, благодаря развитию азартных игр, особенно игр в кости, стали возникать задачи оценки шансов будущих состояний, что привело к появлению *теории вероятности* – современной научной базы количественной оценки рисков. Начало XX века стало периодом активного развития научных основ изучения риска. Впервые разделение понятий «риск» и «неопределенность» было сделано американским экономистом Ф. Найтом, который специально подчеркивал принципиальную измеримость риска, в отличие от неизмеримой *неопределенности*, в частности, в отношении будущих событий [169].

Проявление риска в различных сферах деятельности человека повлекло за собой многочисленные его определения и трактовки. Например, в [121] приведены такие из них, как: шанс или вероятность потерь; отклонение фактических результатов от ожидаемых; вероятность любого исхода, отличного от ожидаемого; вероятность нежелательного исхода.

Значительная часть определений риска связана с двумя утверждениями: риск связан со случайными событиями или процессами; последствия этих событий или процессов являются нежелательными или неприемлемыми. Вместе с тем, для полноты картины необходимо помнить, что проявление риска в общем случае может иметь как негативные, так и позитивные последствия, иначе невоз-

можно понять, почему люди берут на себя, принимают риск. Поведение, связанное с принятием риска (*risk-bearing*), представляет собой балансирование между случайными потерями и случайными вознаграждениями.

Риск как вероятный экономический ущерб стали рассчитывать торговцы и ростовщики, видимо, уже в Древнем Вавилоне, что видно из содержания «Законов Хаммурапи», записанных в XVIII веке до н.э. Разработка основ теории риска как основы страхования была начата в работах австрийского математика Э. Лундберга [163]. Достаточно широкая и одновременно конструктивная трактовка риска стала использоваться в *страховании*, поскольку данная область предпринимательской деятельности непосредственно связана с существованием и различными формами проявления риска. Именно через страхование риск стал товаром, который имеет стоимостные оценки.

В индустриальную эпоху ускорились и получили глобальное распространение основные факторы, вызывающие рост природного и иного риска [143, 153]. Это

а) факторы, повышающие подверженность населения и хозяйства опасным природным воздействиям:

- освоение земель с неблагоприятными природными условиями, связанное с ростом народонаселения;
- переориентация производства на новые источники минеральных ресурсов;
- техногенная активизация природных опасностей и увеличение их разнообразия на освоенных территориях;

б) факторы, повышающие уязвимость населения и экономики к опасным природным воздействиям:

- утяжеление и усложнение зданий, сооружений, коммуникаций, транспортных средств и т. п.;
- урбанизация и централизация снабжения городов энергией, теплом, водой, усиливающая их зависимость от устойчивости работы этих важных объектов хозяйства;

в) факторы, снижающие защищенность населения и хозяйства от опасных природных воздействий:

- обострение военного соперничества, а также социальной, экономической, экологической напряженности во многих странах, что вынуждает органы власти сосредоточиваться на решении лишь наиболее острых проблем;

- ужесточение рыночной конкуренции, требующее снижения непроизводительных расходов;
- либерализация мирового рынка, влияющая на права государств контролировать безопасность производства.

Все эти факторы привели к тому, что во второй половине XX века впервые в истории скорость роста экономического ущерба и числа людей, страдающих от стихийных бедствий и техногенных катастроф, в мире стала сравнима со скоростью роста производства и населения. В то же время, ранее аналогичные потери удерживались на относительно низком уровне посредством известных предупредительных и оперативных мер. Важно также, что в настоящее время одновременно и столь же быстро увеличивается ущерб от техногенных катастроф. При этом многие из них имеют комбинированный природно-техногенный характер. Самостоятельное значение получил экологический риск, техногенный по источнику и создаваемый не столько аварийными, сколько повседневными воздействиями производства на природную среду.

В ответ на все эти события возникла концепция *управления риском* (см. ссылки выше), то есть удержания его на уровне, считающегося допустимым (приемлемым) по тем или иным соображениям. Данная концепция является сейчас стержнем работ, проводимых многими странами, по уменьшению опасности стихийных бедствий и техногенных катастроф, и напрямую связана с идеей устойчивого развития (как отмечалось выше, под устойчивым развитием понимается управляемое развитие общества, не разрушающего своей природной основы и обеспечивающее непрерывный прогресс цивилизации [144]).

Целью управления риском является обеспечение максимально возможной при заданных условиях степени защищенности или устойчивости социальных, экономических, экологических и других систем от опасных природных и техногенных воздействий. Основной категорией, характеризующей эту цель, является *безопасность*. Толковые словари русского языка В.И. Даля и С.И. Ожегова трактуют безопасность практически одинаково: как состояние отсутствия опасности, угрозы или вреда (ущерба) и как синоним сохранности (защищенности), надежности объекта. Сходная трактовка дается и в толковом словаре английского языка, где понятие «безопасность» передается двумя терминами «*safety*» и «*security*» и подразумевает надежность, защищенность, а также некие гарантии для

данного объекта от каких-либо посягательств (нападений, шпионажа, вмешательств и т. п.). Именно такая интерпретация термина «безопасность» положена в основу его научной и (что особенно важно) нормативно-правовой трактовки, которая, в отличие от категории «риск», законодательно закреплена в Законе Российской Федерации «О безопасности», принятом в 1992 г. [147]. Согласно этому закону, безопасность определяется как состояние защищенности жизненно важных интересов личности, общества и государства. При этом указанные интересы определяются как совокупность потребностей, удовлетворение которых надежно обеспечивает существование и возможность прогрессивного развития. Такое понимание безопасности закреплено также в Федеральных законах России «О защите населения и территорий при чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера» (1994 г.), «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» (1997 г.), и во многих других официальных документах.

При рассмотрении социальных, экономических и экологических аспектов крупной аварии или катастрофы обычно оперируют понятиями прямого, косвенного и полного ущерба [32]. Структура *полного ущерба* представлена на рис. 4.4.



Рис. 4.4. Структура полного ущерба

Под *прямым ущербом* в результате чрезвычайной ситуации (ЧС) будем понимать потери и убытки всех структур национальной экономики, попавших в зоны воздействия ЧС, и складывающиеся из невозвратных потерь основных фондов, оцененных природных ресурсов и убытков, вызванных этими потерями, а также затрат, связанных с ограничением развития и ликвидацией ЧС. Определение величины прямого ущерба, связанного с потерей основных фондов промышленного производства, в принципе, не должно вызывать затруднений. Сложность представляет оценка природных ресурсов, выбывших из хозяйственного оборота в результате воздействия ЧС, особенно земли, являющейся базисом производства сельскохозяйственной продукции. Однако специалистами уже предпринимаются попытки нахождения сравнительно реалистической оценки, например, земельных ресурсов, что в значительной степени облегчает поставленную задачу.

Косвенным ущербом от аварии называют потери, убытки и дополнительные затраты, которые понесут объекты народного хозяйства, не попавшие в зону прямого воздействия, и вызванные, в первую очередь, нарушениями и изменениями в сложившейся структуре хозяйственных связей, инфраструктуре. К косвенному ущербу можно отнести и плохо поддающиеся стоимостной оценке отрицательные социальные эффекты, например, падение производительности труда оставшихся в зоне ЧС работников, вызванное их угнетенным психическим состоянием. Прямой и косвенный ущерб в совокупности образуют полный ущерб. Все виды прямых *потерь*, которые несет национальная экономика и население страны в результате ЧС, можно разделить на три основные группы (см. рис. 4.5.): экономические; социальные (гибель людей, потеря здоровья, ухудшение условий жизни); экологические. Прямой экономический ущерб (рис. 4.6) связан непосредственно с повреждением или утратой основных и оборотных фондов, а также включает затраты на ограничение развития ЧС. Этот вид ущерба, как правило, стараются представить с максимально возможной точностью в денежном выражении.

Затраты на ограничение развития ЧС (или затраты на ликвидацию ЧС, но не на восстановление) – это те виды затрат, которые необходимы для ограничения распространения ЧС и уменьшения ее последствий (затраты на эвакуацию населения – организация пе-

реселения, оплата транспорта, организация расселения на новых местах и т.д.).

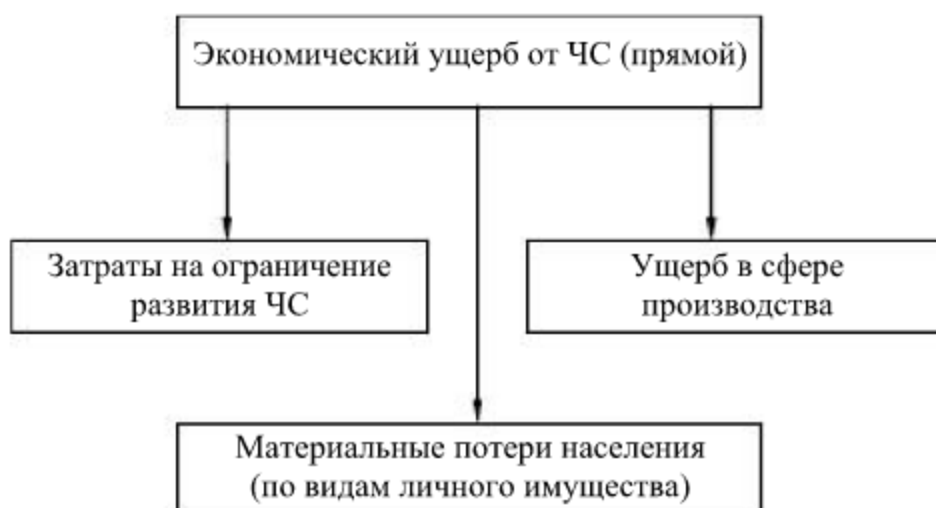


Рис. 4.5. Структура прямого экономического ущерба

Материальные потери населения – вид потерь, связанный с утратой личного имущества граждан (жилья, транспорта и т.д.).

Прямой экономический ущерб в производственной сфере связан непосредственно с выбытием и утратой основных и оборотных фондов (земля, здания и сооружения, линии электропередач, трубопроводы, телефонная и телеграфная связь, линии водоснабжения, машины и оборудование, транспортные средства, инструменты и инвентарь, многолетние насаждения, незавершенное производство, готовая продукция, товары).

Прямой социальный ущерб от ЧС непосредственно связан с воздействием на население и его среду обитания (рис.4.4).

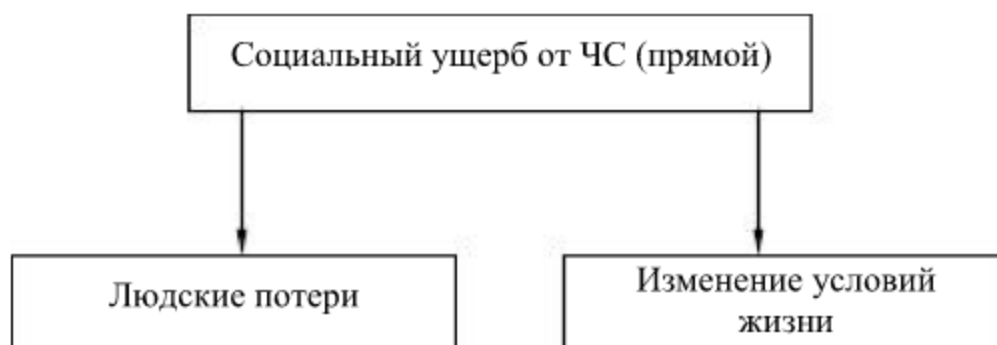


Рис. 4.6. Структура прямого социального ущерба

Прямой экологический ущерб от ЧС связан с ущербом природной среде (рис. 4.7).

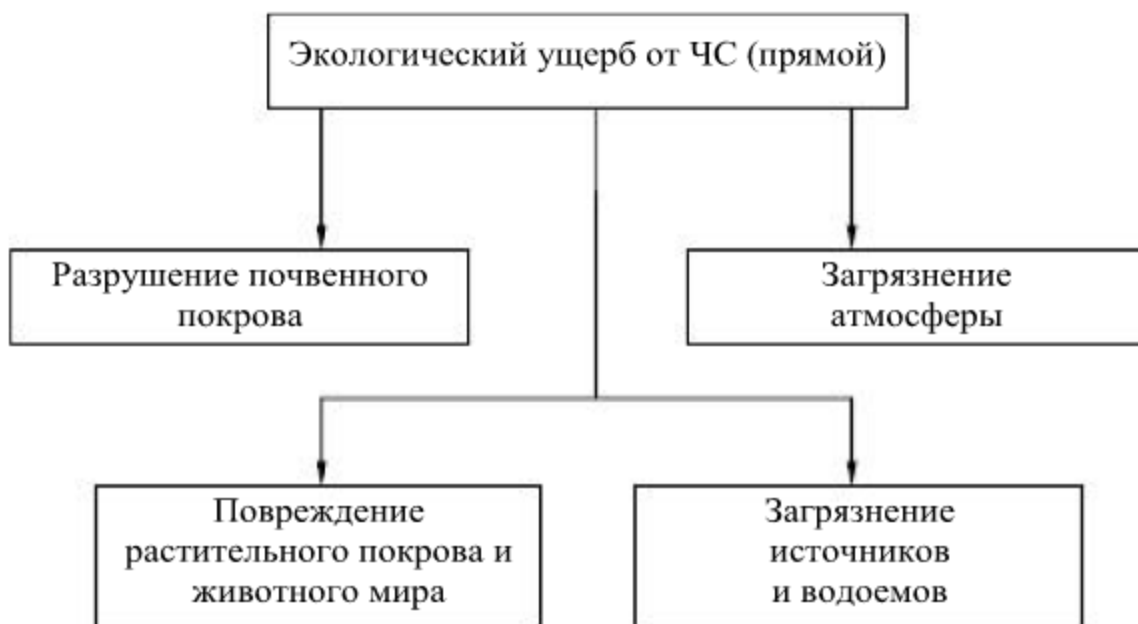


Рис. 4.7. Структура прямого экологического ущерба

Прямой экологический ущерб от ЧС это: ущерб от уничтожения или разрушения почвенного покрова; ущерб от уничтожения либо повреждения растительного и животного мира; ущерб от загрязнения водных источников и водоемов, их исчезновение или нежелательное появление; ущерб от загрязнения атмосферы. Аналогичным образом можно представить структуру косвенного ущерба.

Определив, что в общем случае понимается под риском и безопасностью, а также описав виды и структуру ущерба, перейдем к краткому описанию методов оценки уровня риска.

1.2. МЕТОДЫ ОЦЕНКИ УРОВНЯ РИСКА

Для того чтобы управлять уровнем риска, необходимо, прежде всего, уметь его измерять. В руководстве по оценке экологического риска, подготовленным агентством по охране окружающей среды США (ЕРА), под экологическим риском понимается вероятность реализации неблагоприятных экологических последствий в результате воздействия одного или нескольких факторов химической, физической или биологической природы, которые могут вызвать неблагоприятную реакцию окружающей среды [166]. В России, в соответствии с [151], **экологический риск** – это вероятность наступления события, имеющего неблагоприятные последствия для при-

родной среды и вызванного негативным воздействием хозяйственной и иной деятельности, чрезвычайными ситуациями природного и техногенного характера. И, соответственно, **экологическая безопасность** – это состояние защищенности природной среды и жизненно важных интересов человека от возможного негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности, чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, их последствий.

Уровень безопасности производства во многом связан с технологией производства, выполнением правил техники безопасности, наличием средств, позволяющих эти правила реализовывать. Оценка уровня безопасности производства осуществляется, как правило, экспертным путем. Для этого проводятся всевозможные инспекторские проверки, осуществляется контроль за соблюдением технологических требований и т.д. Подобного рода мероприятия позволяют сформировать экспертную оценку вероятности возникновения ЧС, связанной с производственной деятельностью, например, в регионе.

Таким образом, оценить уровень риска – это значит определить вероятность возникновения угроз безопасности системе и отдельным ее компонентам, а также оценить возможный ущерб.

Оценка риска и/или размера ожидаемого ущерба главным образом определяется существующей в обществе системе ценностей. Отражением этой системы в виде некоторых процедур, позволяющих представить размеры возможных потерь, служат различные методики определения риска.

Естественно, что результаты такой оценки будут тем достовернее, чем проще исследуемый объект и надежнее исходные данные об источниках его потенциальной опасности.

При определении источников опасности обычно пользуются некоторыми критическими параметрами, характеризующими объемы накопленных вредных веществ и запасов энергии. В качестве критерия критичности используются часто размеры вероятных зон поражения, образующиеся в результате аварийных выбросов вещества и энергии.

Например, согласно методике анализа гидроэкологического риска WERF (Фонд экологического исследования воды, США) [121, 166], простая оценка риска (ступень 1) заключается в нахождении так называемого индекса опасности (*quotient index* или *hazard quotient*), определяемого как отношение между наблюдаемым и допустимым фоновым уровнем токсичных веществ в воде. Хими-

ческие вещества, для которых этот индекс превышает предельное значение, подвергаются более сложной процедуре риск-анализа второй ступени с целью выработки мероприятий по уменьшению риска. Сравнение ожидаемой или измеренной величины воздействия с величиной воздействия, приводящей к нежелательным экологическим событиям, позволяет определить величину предварительного (оценочного) индекса опасности.

По мнению [121], метод расчета индекса опасности представляется полезным для предварительной оценки экологического риска. Однако следует иметь в виду, что значения этого индекса не ограничены интервалом $[0; 1]$, а могут принимать сколь угодно большие значения и, следовательно, индекс опасности не может являться вероятностной мерой риска. Кроме того, до сих пор не разработаны переходные зависимости, позволяющие строго интерпретировать значения этого индекса как количественные показатели возможных потерь.

Более перспективный и обоснованный подход к оценке экологического риска для здоровья населения, широко используемый в настоящее время во многих странах мира, в том числе и в России, рекомендует Американская национальная академия наук [1, 33, 170]. Процедура оценки такого риска включает четыре стадии:

1. Идентификация опасности;
2. Оценка воздействующих доз канцерогенных и неканцерогенных веществ;
3. Оценка зависимости доза-эффект (чувствительности к воздействию);
4. Характеристика риска в виде индивидуальных (для одного человека из оцениваемой группы) и полных (для всей группы) значений летальных исходов и других количественных показателей возможных негативных для населения исходов.

В [122] дается описание методов:

- оценки экономического риска от процесса подтопления строительного объекта;
- оценки экономического риска оценки экономического риска от карстово-суффозионных провалов земной поверхности;
- оценки индивидуального, социального и экономического риска от селей;
- оценки оползневого и интегрального риска.

Как уже упоминалось выше, наряду с оценкой риска часто целесообразно иметь информацию о возможном ущербе от чрезвычайной ситуации. Существуют пять Федеральных законов, с учётом которых должна проводиться оценка ущерба от аварий и катастроф:

- Федеральный закон от 29 июля 1998 г. № 135-ФЗ «Об оценочной деятельности в Российской Федерации» (с изменениями от 21 декабря 2001 г., 21 марта, 14 ноября 2002 г., 10 января, 27 февраля 2003 г., 22 августа 2004 г., 5 января, 27 июля 2006 г., 5 февраля, 13, 24 июля 2007 г.);

- Федеральный закон от 22 августа 1995 г. № 151-ФЗ «Об аварийно-спасательных службах и статусе спасателей»;

- Федеральный закон от 21 июня 1997 г. № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» (с изменениями от 18 декабря 2006 года);

- Федеральный закон от 21 декабря 1994 г. № 68-ФЗ «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера»;

Также приняты несколько Постановлений Правительства РФ, относящихся к проблеме расследования и оценки ущерба от аварий и катастроф:

- Постановление Правительства РФ от 13.09.1996 г. № 1094 «О классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера»;

- Постановление Правительства РФ от 6 июля 2001 г. № 519 «Стандарты оценки, обязательные к применению субъектами оценочной деятельности»;

- Постановление Правительства РФ от 7 июня 2002 г. № 395 «О лицензировании оценочной деятельности» (с изменениями от 3 октября 2002 г.);

- Постановление Правительства РФ от 11 марта 1999 г. № 279 «Положение о расследовании и учете несчастных случаев на производстве» (с изменениями от 28 января, 24 мая 2000 г.);

- Постановление Правительства РФ от 10 марта 1999 г. № 263 «Об организации и осуществлении производственного контроля за соблюдением требований промышленной безопасности на опасном производственном объекте» (с изменениями от 1 февраля 2005 г.).

Таким образом, на сегодняшний день существует множество подходов к оценке уровня риска. Осуществление этой оценки (осо-

бенно количественной) является сложной комплексной задачей (см., например, обзоры в [121, 143]). Тем не менее, методы оценки риска не являются основным предметом настоящей работы, поэтому ниже при рассмотрении механизмов управления считается, что риски (то есть, и вероятности, и ущербы) известны.

1.3. МЕХАНИЗМЫ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОГРАММ СНИЖЕНИЯ УРОВНЯ РИСКА

Для управления уровнем риска необходимо уметь осуществлять оценку локальных рисков, переходить от набора локальных оценок рисков (ущербов) к интегральной (комплексной) оценке риска (ущерба). Поэтому в настоящем разделе, сначала приводится общее описание задач комплексного оценивания, затем рассматривается методика интегральной оценки риска и ущерба. Все это позволяет сформулировать и решить задачу построения оптимальной программы (комплекса мероприятий) снижения уровня риска.

Задачи комплексного оценивания, заключающиеся в переходе от детального к агрегированному описанию сложных систем, встречаются во многих областях хозяйственной деятельности. Например: оценка деятельности трудовых коллективов (выбор лучшего) [27]; оценка приоритетных направлений развития науки и техники (иерархия приоритетов) [65]; оценка привлекательности инвестиционных проектов (выбор наиболее эффективного) [7]; оценка степени достижения целей при формировании согласованных программ развития региона [6, 7]; оценка предложений по проектам законодательных и иных нормативных правовых актов [61].

Все эти задачи относятся к классу задач *комплексного оценивания* сложных социально-экономических объектов (проектов, программ, сценариев развития и др.). В последнее время для решения такого рода задач широко используется подход, основанный на формировании дерева оценок и вычислении на нем *интегральной оценки риска* (ИОР) или *комплексной оценки* (КО).

Решение таких задач основано на методологии формирования интегральной оценки риска путем реализации стандартных формальных и экспертных процедур. В Институте проблем управления РАН разработана методология комплексного оценивания, которая обобщила подходы к построению комплексной оценки, встречаю-

щиеся во многих областях хозяйственной деятельности. Суть этой методологии состоит в следующем:

- на первом этапе для оцениваемого сценария развития устанавливается набор локальных рисков (критериев – в зависимости от содержательной задачи), которые характеризуют возможное развитие события с различных точек зрения;

- на втором этапе весь набор локальных рисков разбивается на две подгруппы:

- первая подгруппа – локальные риски, по которым показатели, используемые для оценки развития события, могут быть точно рассчитаны (например, экономический риск);

- вторая подгруппа – локальные риски, по которым показатели рассчитать невозможно, а развитие события с этими локальными рисками оценивается только экспертным путем (например, состояние уровня жизни);

- на третьем этапе формируется балльная шкала оценок, с помощью которой эксперты оценивают локальные риски второй подгруппы;

- на четвертом этапе определяются оценки локальных рисков, входящих во вторую подгруппу;

- на пятом этапе формируется набор показателей, которые характеризуют локальные риски первой подгруппы;

- на шестом этапе для каждого показателя локальных рисков из первой подгруппы формируются шкалы пересчета их значений в промежуточные балльные оценки;

- на седьмом этапе рассчитываются значения показателей локальных рисков из первой подгруппы;

- на восьмом этапе на основе сформированной шкалы пересчитываются значения показателей в промежуточные балльные оценки риска;

- на девятом этапе определяются оценки локальных рисков, входящих в первую подгруппу;

- на десятом этапе определяются пары локальных рисков, оценки которых будут сворачиваться в обобщенную оценку, и строится бинарное дерево свертки;

- на одиннадцатом этапе для построенного бинарного дерева формируются соответствующие матрицы логической свертки;

- на двенадцатом этапе определяется интегральная оценка риска;

Отметим, что, если для всех выбранных локальных рисков оценки уровня риска определяются с помощью экспертов, то количество этапов, необходимых для получения интегральной оценки, сокращается больше чем на половину. В этом случае чтобы получить интегральную оценку уровня риска, достаточно реализовать только шесть этапов, а именно: первый, третий, четвертый, десятый, одиннадцатый и двенадцатый.

Подробное описание методологии построения интегральной оценки риска, социально-экономических последствий чрезвычайных событий и примеры использования процедур комплексного оценивания приводятся в [6-8, 14, 49, 55, 60, 61, 68].

Интегральная оценка риска. Рассмотрим содержание каждого этапа более подробно.

Первый этап – установлено n локальных рисков для оценивания интегрального уровня риска.

Второй этап – все риски разбиваются на две подгруппы. Это разбиение происходит лишь в том случае, если существуют локальные риски, оценка по которым может быть определена на основе объективных данных, то есть существуют показатели, которые могут быть просто рассчитаны, измерены или получены с помощью конкретных формальных процедур. В то же время, оценка уровня остальных рисков будет осуществлена только экспертным путем. В дальнейшем будем считать, что все выбранные локальные риски упорядочены таким образом, что по первым n' из них показатели могут быть точно рассчитаны.

Третий этап – формирование балльной шкалы оценок. Для всех локальных рисков формируется единая шкала. Если шкала оценок является m -балльной, где $m = 2, 3, 4, \dots$, то, соответственно, максимальная оценка, которую можно присвоить локальному уровню риска, будет m баллов, а минимальная оценка – один балл.

Четвертый этап – определение оценок локальных рисков, входящих во вторую подгруппу. Если i -й локальный риск оценивают n_i экспертов, $i = n' + 1, n' + 2, \dots, n$, то оценки уровня риска могут быть получены путем применения стандартных процедур свертки экспертных оценок. Например, если s_{ij} – экспертная оценка по i -му локальному риску, полученная от j -го эксперта, то оценка O_i по этому локальному риску может быть сформирована, например, на

основе процедуры усреднения: $O_i = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} s_{ij}$ или нахождения медианы.

Пятый этап – определяется множество показателей, которые характеризуют локальные риски, входящие в первую подгруппу, то есть определяется количество Q_i , $i = \overline{1, n'}$, показателей, характеризующих i -й локальный риск.

Шестой этап – разработка шкал пересчета значений показателей в локальные балльные оценки. Для первых n' локальных рисков, то есть локальных рисков, по которым оценку определяют показатели, имеющие характер объективных данных, формируются $\sum_{i=1}^{n'} Q_i$ отдельных шкал. Эти шкалы строятся следующим образом. Для j -го показателя, $j = 1, \dots, Q_i$, i -го локального риска, $i = \overline{1, n'}$, экспертно или на основании расчетов определяются наилучшее $П_{ij}^a$ и наихудшее $П_{ij}^x$ значения показателя. Затем эти значения откладываются на числовой оси. Таким образом, полученный отрезок включает в себя все возможные значения, которые может принимать этот показатель. После этого отрезок разбивается на m отрезков, причем границы этих отрезков также определяются экспертно. Достаточно часто встречающийся способ разбиения – это разбиение на равные отрезки (альтернативой является разбиение на равно представительные отрезки, в пределы каждого из которых попадает примерно одинаковое количество потенциально оцениваемых ситуаций).

Если $П_{ij}^a > П_{ij}^x$, то полученная шкала имеет вид, представленный на рис. 4.8.

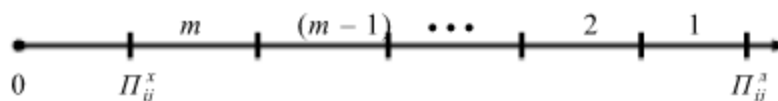


Рис. 4.8. Шкала пересчета значений показателей в локальные балльные оценки для случая $П_{ij}^a > П_{ij}^x$

Если $П_{ij}^a < П_{ij}^x$, то шкала имеет вид, представленный на рис.4.9.

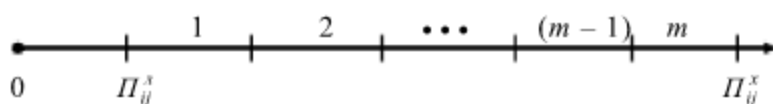


Рис. 4.9. Шкала пересчета значений показателей в локальные балльные оценки для случая $П_{ij}^a < П_{ij}^x$

Седьмой этап – измеряются или рассчитываются значения показателей b_{ij} , которые характеризуют локальные риски первой подгруппы.

Восьмой этап – значения показателей, полученные на седьмом этапе, пересчитываются в промежуточные балльные оценки. Для этого на соответствующей шкале находится значение того или иного показателя, и определяется балльная оценка, которой это значение соответствует.

Девятый этап – определяются оценки уровня риска из первой подгруппы: $O_i = \frac{1}{Q_i} \sum_{j=1}^{Q_i} b_{ij}$.

Десятый этап – определяются пары показателей, по которым оценки уровня риска будут сворачиваться в обобщенную оценку. На данном этапе эти пары показателей также определяются экспертами, то есть эксперты формируют так называемую *бинарную структуру свертки* [18, 42], которая наглядно иллюстрирует схему последовательного получения сначала обобщенных оценок, а затем и комплексной оценки – интегральной оценки риска (ИОР). Простейшая бинарная структура строится для двух локальных рисков. Естественно, что эта структура единственная, и для двух локальных рисков существует только один вариант свертки оценок. Поэтому, если для построения интегральной оценки уровня риска выделено два локальных риска, то привлечение экспертов для формирования бинарной структуры не требуется. Простейшая бинарная структура изображена на рис.4.10.

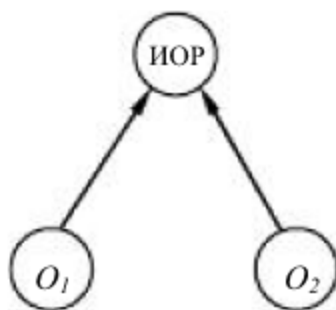


Рис. 4.10. Простейшая бинарная структура

Для трех локальных рисков, как и для двух, бинарная структура также может быть построена только одним способом. Эта структура представлена на рис. 4.11.

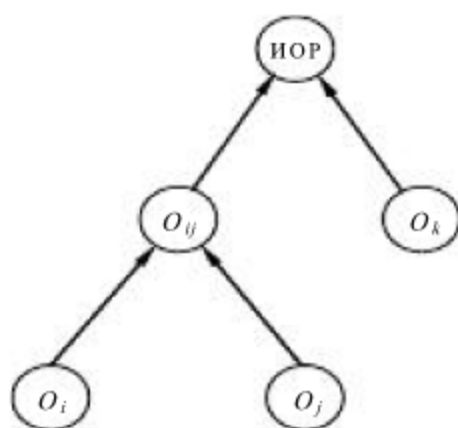


Рис. 4.11. Бинарная структура для трех локальных рисков

Однако для этой единственной структуры уже возможно построить три варианта свертки. Все возможные варианты получения обобщенной (O_{ij}) и интегральной (ИОР) оценок для трех локальных рисков представлены в табл. 4.2.

Т а б л и ц а 4.2. Варианты получения обобщенной и интегральной оценок для трех локальных рисков

№ варианта	i	j	k
1	1	2	3
2	1	3	2
3	2	3	1

Четыре локальных риска уже позволяют построить две бинарные структуры свертки. Первая структура основана на параллельном сворачивании оценок уровня риска (*параллельная структура*). При этом сначала из двух пар оценок строятся две обобщенные оценки, а затем уже из полученных обобщенных оценок формируется интегральная оценка риска. Параллельная бинарная структура для четырех локальных рисков изображена на рис. 4.12.

Видно, что на первом уровне иерархии находятся локальные оценки, на втором – обобщенные оценки, и, наконец, ИОР формируется на третьем уровне иерархии.

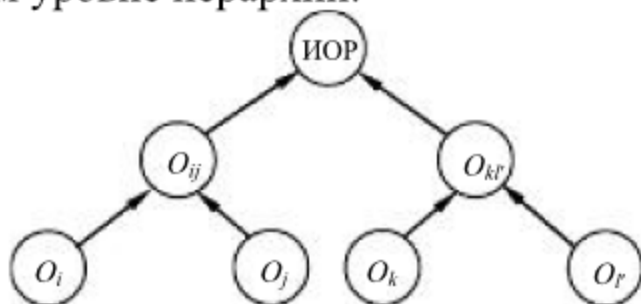


Рис. 4.12. Параллельная бинарная структура для четырех локальных рисков

Для параллельной бинарной структуры можно построить три варианта свертки локальных оценок (табл. 4.3).

Т а б л и ц а 4.3. Варианты свертки локальных оценок для параллельной бинарной структуры

№ варианта	i	j	k	l'
1	1	2	3	4
2	1	3	4	2
3	1	4	2	3

Таким образом, если для определения ИОР выбрана параллельная бинарная структура, то задача экспертов заключается в выборе одного варианта свертки из трех возможных.

Второй способ построения бинарной структуры для четырех локальных рисков – это последовательное агрегирование оценок риска (*последовательная структура*). При этом на первом уровне находятся только две оценки, на втором уровне иерархии находится одна обобщенная оценка риска, построенная на основе свертки двух оценок риска первого уровня, и одна оценка локального риска. Обобщенная оценка третьего уровня получается путем свертки обобщенной оценки второго уровня и третьей оценки локального риска. И, наконец, на следующем уровне, агрегируя обобщенную оценку третьего уровня и четвертую оценку локального риска, получаем ИОР. Последовательная бинарная структура для четырех локальных рисков изображена на рис. 4.13.

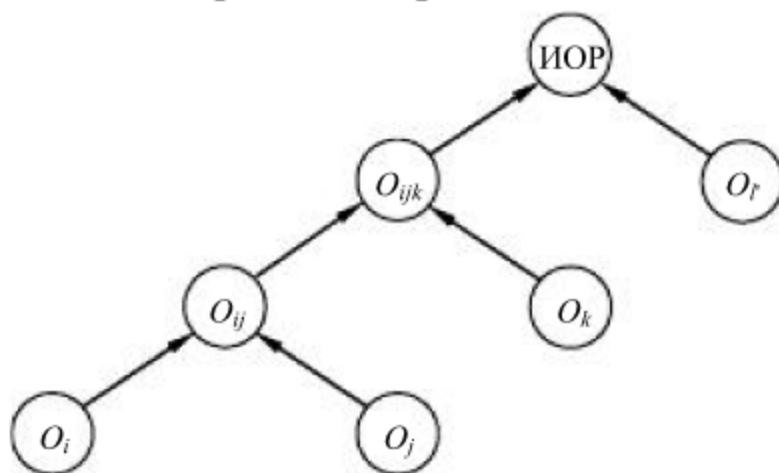


Рис. 4.13. Последовательная бинарная структура для четырех локальных рисков

Из рис. 4.13 видно, что при использовании последовательной бинарной структуры, интегральная оценка уровня риска занимает

четвертый уровень иерархии, что вполне естественно, так как параллельное выполнение операций агрегирования всегда сокращает количество уровней иерархии.

Как было показано выше, для параллельной бинарной структуры и четырех локальных рисков возможно сформировать лишь три варианта построения ИОР, в то время как для последовательной бинарной структуры уже может быть построено двенадцать вариантов свертки. Все возможные варианты формирования ИОР при выборе четырех локальных рисков и использовании последовательной бинарной структуры представлены в табл. 4.4.

Т а б л и ц а 4.4. Варианты свертки локальных оценок для последовательной бинарной структуры

№ варианта	i	j	k	l'
1	1	2	3	4
2	1	2	4	3
3	1	3	2	4
4	1	3	4	2
5	1	4	2	3
6	1	4	3	2
7	2	3	1	4
8	2	3	4	1
9	2	4	1	3
10	2	4	3	1
11	3	4	1	2
12	3	4	2	1

Задача экспертов для этой структуры становится более сложной, так как им необходимо выбрать один вариант из двенадцати.

Таким образом, при выборе четырех локальных рисков эксперты сначала должны выбрать бинарную структуру свертки, а затем определить вариант построения ИОР. Примеры содержательных правил построения структуры можно найти в [49]. Также следует отметить, что, если для оценки уровня риска на первом этапе сформировано более четырех локальных рисков, то для определения ИОР, кроме параллельных и последовательных бинарных структур, можно сформировать и *смешанные структуры*. Причем, нетрудно заметить, что для нечетного числа локальных рисков, можно сформировать или последовательную или смешанную бинарные структуры, в то время как параллельную бинарную структуру построить невозможно.

Одиннадцатый этап – формирование матриц свертки. Для получения ИОР оценки локальных рисков и обобщенные оценки попарно «сравниваются» друг с другом, и формируются обобщенные оценки более высокого уровня иерархии. Формирование обобщенных оценок осуществляется при помощи матриц свертки. *Матрица свертки* – это таблица, номер строки которой соответствует оценке одного локального риска, а номер столбца – оценке другого локального риска. Отсчет строк и столбцов матрицы обычно ведется от ее нижнего левого угла. На пересечении этих строки и столбца как раз и находится обобщенная оценка. При параллельной бинарной структуре полученные обобщенные оценки на нижнем уровне опять попарно сравниваются друг с другом, и формируется обобщенная оценка следующего уровня при помощи матриц свертки уже следующего уровня. При последовательной бинарной структуре каждая полученная обобщенная оценка на нижнем уровне сравнивается с соответствующей оценкой локального риска, и формируется обобщенная оценка следующего уровня. Процедура повторяется до тех пор, пока не останется одна обобщенная оценка, которая и представляет собой ИОР.

Отметим, что для каждой пары сворачиваемых оценок выбирается своя матрица свертки. Для m -балльной шкалы матрицы имеют размерность $m \times m$. Для $m = 2$ можно выделить три базовые матрицы свертки – см. рис. 4.14.

$$M_1 = \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \quad M_2 = \begin{bmatrix} 2 & 2 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \quad M_3 = \begin{bmatrix} 2 & 2 \\ 1 & 2 \end{bmatrix}$$

Рис. 4.14. Матрицы свертки для двхубальной шкалы

Для трехбалльной шкалы примеры базовых матриц свертки представлены на рис. 4.15.

$$\begin{aligned} M_1 &= \begin{bmatrix} 3 & 3 & 3 \\ 2 & 2 & 3 \\ 1 & 2 & 3 \end{bmatrix} & M_2 &= \begin{bmatrix} 2 & 3 & 3 \\ 2 & 2 & 3 \\ 1 & 2 & 2 \end{bmatrix} & M_3 &= \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 1 & 2 & 2 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \\ M_4 &= \begin{bmatrix} 2 & 2 & 3 \\ 1 & 2 & 2 \\ 1 & 1 & 2 \end{bmatrix} & M_5 &= \begin{bmatrix} 3 & 3 & 3 \\ 2 & 2 & 2 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} & M_6 &= \begin{bmatrix} 2 & 3 & 3 \\ 2 & 2 & 2 \\ 1 & 1 & 2 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

Рис. 4.15. Матрицы свертки для трехбалльной шкалы

Основное внимание при формировании матриц свертки должно быть уделено их *непротиворечивости*, то есть значение каждого элемента матрицы не должно противоречить логике ее построения.

Если обозначить через A_{ij} элементы матрицы свертки, то матрица будет непротиворечивой, если выполняются следующие условия (считается, что нумерация столбцов и строк матриц свертки ведется от нижнего левого угла):

1. $A_{ii} = i$;
2. $\min(i, j) \leq A_{ij} \leq \max(i, j)$;
3. $A_{ij} \leq A_{ij+1}$;
4. $A_{ij} \leq A_{i+1j}$.

Двенадцатый этап – определение ИОР. Проиллюстрируем этот этап следующим примером. Пусть выделено четыре локальных риска и выбрана трехбалльная шкала. По всем локальным рискам получены следующие оценки: $O_1 = 1$, $O_2 = 2$, $O_3 = 2$, $O_4 = 1$, используется бинарная структура, которая изображена на рис. 4.12, и выбран вариант № 1. Оценки O_1 и O_2 сворачиваются при помощи матрицы M_2 , оценки O_3 и O_4 – при помощи матрицы M_4 , а обобщенные оценки второго уровня сворачиваются матрицей M_6 , причем обобщенная оценка O_{12} имеет предпочтение над обобщенной оценкой O_{34} . Процедура расчета ИОР представлена на рис. 4.16.

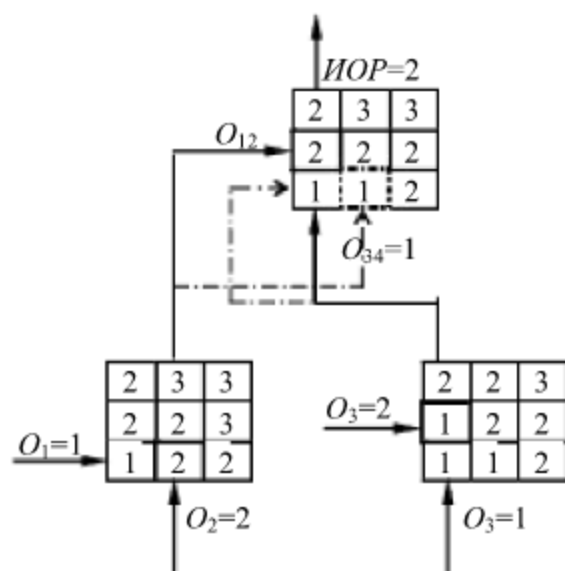


Рис. 4.16. Расчет ИОР для четырех локальных рисков

Если обобщенная оценка O_{34} имеет предпочтение над обобщенной оценкой O_{12} , то интегральная оценка риска равна 1. Для того чтобы реализовать требование предпочтения O_{34} над O_{12} и не менять структуры формирования интегральной оценки риска, необхо-

димо вместо матрицы M_6 использовать транспонированную матрицу M_6^T . Другой способ формирования комплексной оценки для этого случая показан пунктирной линией на рис. 4.16. Заметим, что логические матрицы свертки определяют процедуру агрегирования локальных рисков в интегральную оценку риска, и тем самым, фиксируют приоритеты и политику лиц, принимающих решения (ЛПР) по отношению к ущербам различного типа. Поэтому утверждение логических матриц свертки – ответственная процедура, выполняемая обычно на достаточно высоком уровне руководства.

Интегральная оценка ущерба. Предложенная методика построения ИОР на основе агрегирования локальных рисков (ожидаемых ущербов) может без существенных изменений применена и для построения ИОР как математического ожидания интегральной оценки ущерба. Для этого достаточно в качестве исходных показателей рассматривать не локальные риски, а непосредственно ущербы, приписывая каждому соответствующую вероятность. Таким образом, каждый тип ущерба характеризуется распределением вероятностей возможных значений. Задача заключается в определении на основе этих данных распределения вероятностей возможных значений интегральной оценки ущерба. Рассмотрим ее решение на примере дерева ущербов рис. 4.17 с логическими матрицами свертки рис. 4.18 (отметим, что в соответствующих матрицах свертки нумерация столбцов и строк ведется от верхнего правого угла⁸).



Рис. 4.17. Дерево свертки в примере интегральной оценки ущерба

⁸ Выбор «направления возрастания» элементов матриц свертки в каждом конкретном случае производится исходя из содержательных интерпретаций и удобства экспертов и ЛПР.

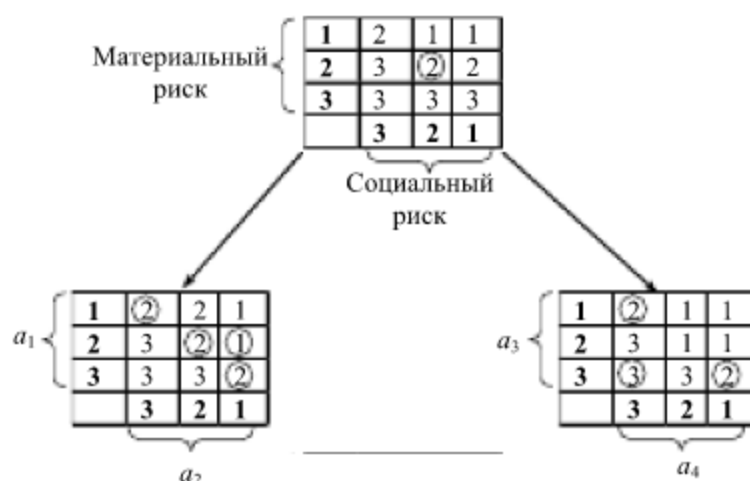


Рис. 4.18. Матрицы свертки в примере интегральной оценки ущерба

Обозначим p_{ij} вероятность значения j для ущерба i , $i = \overline{1,4}$, $j = \overline{1,3}$. Значения вероятностей p_{ij} приведены в табл. 4.5.

Т а б л и ц а 4.4. Вероятности различных значений ущерба

$i \backslash j$	1	2	3
1	0,3	0,3	0,4
2	0,3	0,3	0,4
3	0,4	0,3	0,3
4	0,4	0,3	0,3

Предположим, что ущербы различных типов являются независимыми случайными величинами. Определим распределение вероятностей возможных значений материального ущерба. Из анализа матриц на рис. 4.18 видно, что незначительный материальный ущерб (оценка 1) имеет место в двух случаях. В первом случае незначительным является и экономический и экологический ущерб, а во втором – при незначительном экологическом ущербе имеет место ощутимый экономический ущерб. Обозначим W_{1j} – вероятность оценки j материального ущерба. В соответствии с известными формулами теории вероятностей получаем:

$$W_{11} = p_{11}p_{21} + p_{12}p_{21} = 0,3 \times 0,3 + 0,3 \times 0,3 = 0,18.$$

Оценка 2 материального ущерба (ощутимый материальный ущерб) имеет место уже в четырех случаях. Поэтому

$$W_{12} = p_{11}p_{22} + p_{11}p_{23} + p_{12}p_{22} + p_{13}p_{21} = 0,3 \times 0,7 + 0,09 + 0,12 = 0,42.$$

Наконец оценка 3 (существенный материальный ущерб) имеет место в трех случаях: $W_{13} = p_{12}p_{23} + p_{13}p_{22} + p_{13}p_{23} = 0,4$.

Используя аналогичный подход, определяем распределение вероятностей W_{2j} возможных значений социального ущерба:

$$W_{21} = p_{31}p_{41} + p_{32}p_{41} + p_{31}p_{42} + p_{32}p_{42} = 0,49,$$

$$W_{22} = p_{31}p_{43} + p_{33}p_{41} = 0,24,$$

$$W_{23} = p_{32}p_{43} + p_{33}p_{42} + p_{33}p_{43} = 0,27.$$

Зная распределения вероятностей возможных значений материального и социального ущербов, на основе матрицы интегрального ущерба определяем распределение вероятностей возможных значений интегрального ущерба. Обозначая P_j – вероятность оценки j интегрального ущерба, получаем:

$$P_1 = W_{11} (W_{21} + W_{22}) = 0,13,$$

$$P_2 = W_{11} W_{23} + W_{12} W_{22} + W_{12} W_{21} = 0,35$$

$$P_3 = W_{12} W_{23} + W_{13} W_{23} + W_{13} W_{22} + W_{13} W_{21} = 0,51.$$

Теперь можно оценить интегральный риск R' как среднее значение интегральных оценок ущерба⁹:

$$R' = 1 \times 0,13 + 2 \times 0,35 + 3 \times 0,51 = 2,36.$$

В данном случае уровень риска находится между ощутимым (средним) и существенным (высоким).

Предположение о независимости величин ущербов различных типов не всегда соответствует действительности. В ряде случаев, более адекватным является *сценарный подход*, при котором имеются несколько вариантов (сценариев) развития. Каждый вариант реализуется с некоторой вероятностью и характеризуется определенным вектором ущербов. Понятно, что в данном случае ущербы различных типов не являются независимыми случайными величинами. Пусть число возможных сценариев, реализующихся независимо, равно m' , а вероятность j -го варианта равна P_j . В этом случае, для каждого варианта j определяем интегральную оценку ущерба W_j . Зная интегральные оценки ущерба каждого варианта и его вероятность, можно определить и ожидаемый ущерб $W' = \sum_{j=1}^{m'} P_j W_j$.

Рассмотрим численный пример расчета риска на основе сценарного подхода. Пусть возможны три сценария развития техногенной катастрофы, различающиеся по тяжести последствий. Вероятности

⁹ Следует подчеркнуть условность «взвешивания» балльных оценок.

этих сценариев и соответствующие векторы ущербов приведены в табл. 4.6.

Т а б л и ц а 4.6. Вероятности сценариев и векторы ущербов

№ сценария	P_j	W_1	W_2	W_3	W_4	W'
1	0,2	1	2	1	2	2
2	0,7	2	2	1	3	2
3	0,1	2	3	2	3	3

В этой же таблице указаны интегральные оценки ущерба различных сценариев, определенные по логическим матрицам свертки рис. 4.18. Из табл. 4.6 следует, что первый и второй сценарии имеют интегральную оценку ущерба 2, а третий – 3. Поэтому вероятности возможных значений интегральных оценок ущерба равны, соответственно: $P_1=0$; $P_2=0,9$; $P_3=0,1$. Ожидаемый ущерб составляет $W'=0 \times 1 + 0,9 \times 2 + 0,1 \times 3 = 2,1$, то есть, близок к осязательному.

Для сравнения определим риск, предполагая ущербы различных типов независимыми случайными величинами. Для этого сначала определим вероятности p_{ij} того, что ущерб i -го типа имеет оценку j (табл. 4.7).

Т а б л и ц а 4.7. Вероятности сценариев и векторы ущербов

$i \backslash j$	1	2	3
1	0,2	0,8	0
2	0	0,9	0,1
3	0,9	0,1	0
4	0	0,2	0,8

Теперь, применяя описанный выше алгоритм, определяем вероятности возможных оценок материального и социального ущербов. Имеем:

$$\begin{aligned}
 W_{11} &= p_{11}p_{21} + p_{12}p_{21} = 0; \\
 W_{12} &= p_{11}(p_{22} + p_{23}) + p_{12}p_{22} + p_{13}p_{21} = 0,92; \\
 W_{13} &= p_{12}p_{23} + p_{13}(p_{22} + p_{23}) = 0,08, \\
 W_{21} &= p_{31}p_{41} + p_{32}p_{41} + p_{31}p_{42} + p_{32}p_{42} = 0,2,
 \end{aligned}$$

$$W_{22} = p_{31}p_{43} + p_{33}p_{41} = 0,72,$$

$$W_{23} = p_{32}p_{43} + p_{33}p_{42} + p_{33}p_{43} = 0,08.$$

Далее определяем распределение вероятностей возможных оценок интегрального ущерба:

$$P_1 = W_{11} (W_{21} + W_{22}) = 0;$$

$$P_2 = W_{11} W_{23} + W_{12} (W_{22} + W_{21}) = 0,85;$$

$$P_3 = W_{12} W_{23} + W_{13} W_{23} + W_{13} W_{22} + W_{13} W_{21} = 0,15.$$

Интегральная оценка риска равна:

$$\hat{W}' = 0 \times 1 + 0,85 \times 2 + 0,15 \times 3 = 2,15.$$

Сравнивая с результатами сценарного подхода, видим, что оценки и вероятностей и риска отличаются, хотя и незначительно (\hat{W}).

Предлагаемые алгоритмы позволяют определить интегральную оценку риска либо как комплексную оценку локальных рисков, либо как математическое ожидание комплексной оценки локальных ущербов.

Умея определять интегральный природно-техногенный риск, можно ставить и решать задачу управления, то есть разрабатывать программу снижения природно-техногенного риска до требуемого уровня с минимальными затратами. Далее рассматривается постановка и решение этой задачи для случая, когда интегральный природно-техногенный риск определяется как комплексная оценка локальных рисков. Для этого случая удастся предложить эффективный метод разработки оптимальной программы снижения природно-техногенных рисков.

Методы разработки оптимальной программы снижения природно-техногенных рисков. Снижение интегральной оценки природно-техногенного риска достигается за счет проведения мероприятий, снижающих локальные риски по различным показателям. Ранее были выделены четыре показателя снижения природно-техногенного риска (см. рис. 4.17):

- показатель 1 связан с мероприятиями, снижающими экономический риск;
- показатель 2 – экологический риск;
- показатель 3 – риск людских потерь;
- показатель 4 – риск ухудшения условий жизни.

Теперь следует определить оптимальный набор мероприятий, так изменяющий существенные параметры, чтобы ущерб был не больше заданного, а стоимость проведения всех мероприятий при

этом была минимальна. Поставленная задача решается на основе уже построенного ранее дерева комплексного оценивания риска. Для этого необходимо определить, как надо изменить первичные параметры объекта, чтобы величина ожидаемого ущерба стала допустимой. После этого любое изменение каждого первичного параметра будем связывать с конкретным мероприятием, имеющим свою стоимость. Для определения оптимального набора таких мероприятий строится, так называемая, *сеть напряженных вариантов*, каждый из которых является Парето-оптимальным (см. определение оптимальности по Парето, например, в [50]). Затем применяется алгоритм, выбирающий набор мероприятий минимальной стоимости.

Примем для определенности, что исходное состояние объекта (например, региона) характеризуется высокими локальными рисками (оценка 3) по всем показателям. Соответственно, интегральная оценка также равна 3 (высокий или существенный риск). Снижение локального риска по каждому показателю требует затрат на проведение соответствующих мероприятий. Обозначим C_{ij} – затраты на снижение локального риска по показателю i до оценки j , $i = 1, \dots, 4$, $j = 1, \dots, 3$ (C_{i3} соответствует затратам на поддержание локального риска на том же уровне).

Поставим задачу разработать вариант программы снижения интегрального риска до оценки 2 (средний или ощутимый риск) с минимальными затратами. Каждый вариант программы будем описывать вектором локальных рисков. Так, вариант (2, 1, 2, 3) означает, что реализация программы обеспечивает снижение экономического риска до среднего уровня, экологического – до низкого уровня, риска людских потерь – до среднего уровня, а риск ухудшения условий жизни остается высоким. Интегральный риск при этом равен 2, то есть данный вариант программы является допустимым. Затраты на реализацию данного варианта составляют

$$C(2, 1, 2, 3) = C_{12} + C_{21} + C_{32} + C_{43}.$$

Для разработки программы, минимальной по стоимости, можно рассмотреть все допустимые варианты, и выбрать из них вариант с минимальными затратами. Однако при большом числе локальных рисков и большом числе возможных оценок локальных рисков число допустимых вариантов становится большим, и простой перебор не эффективен. Поэтому обычно ограничиваются множеством напряженных вариантов.

Вариант программы называется *напряженным*, если увеличение локального риска хотя бы по одному показателю приводит к увеличению интегрального риска [65].

Важность понятия напряженного варианта связана с тем, что, как легко показать, оптимальный вариант программы является напряженным вариантом. Действительно, пусть имеется допустимый ненапряженный вариант. Тогда существует показатель, по которому можно увеличить локальный риск без изменения оценки интегрального риска. Очевидно, что новый вариант является допустимым и требует меньших затрат.

Опишем алгоритм построения всех напряженных вариантов. Заметим, что напряженный вариант по существу является Парето-оптимальным вариантом. Определение Парето-оптимальных вариантов при дискретных шкалах оценок – задача известная, и для двух критериев (обобщенных оценок, свертка которых определяется одной матрицей) алгоритм также известен. Дадим его краткое описание.

Рассматриваем последний столбец матрицы и определяем максимальную строку с требуемой оценкой (в данном случае нумерация столбцов идет справа налево, а строк – сверху вниз – см. рис. 4.15). Для этой строки определяем максимальный столбец с требуемой оценкой. Эта оценка будет определять напряженный вариант. Далее, начиная со столбца с меньшим номером (на единицу), повторяем процедуру, и т.д. Будем для краткости обозначать этот базовый алгоритм символом N . Для описания всех напряженных вариантов применяем алгоритм N к матрице интегральной оценки (корневая вершина дерева критериев). Заметим, что каждому напряженному варианту матрицы интегральной оценки соответствуют две обобщенные оценки следующего уровня дерева критериев. Для каждой из них находим все напряженные варианты в соответствующих матрицах обобщенных оценок (применяя алгоритм N). Продолжаем таким образом строить сеть напряженных вариантов.

Сеть напряженных вариантов для рассматриваемого примера приведена на рис. 4.19. В ней чередуются вершины двух типов. Вершины одного типа обозначены квадратами, в которых указаны значения обобщенных оценок, для которых нужно определить напряженные варианты в соответствующих матрицах (вход сети всегда квадрат, в котором указано значение комплексной оценки, а выходы – квадраты, в которых указаны значения оценок). Верши-

ны-квадраты соединены дугами с вершинами-кружками, в которых указаны все напряженные варианты для данной обобщенной оценки. Любому напряженному варианту соответствует прадерево (подграф сети) с корнем в начальной вершине. В каждую вершину-кружок этого прадерева заходит только одна дуга от вершины-квадрата более высокого уровня, а из каждой вершины-кружка выходят две дуги к вершинам-квадратам более низкого уровня (на рис. 4.19 один из вариантов выделен жирным дугами). Построив сеть напряженных вариантов, можно определить их количество. Для этого присваиваем выходным вершинам сети (квадратам) индекс 1.

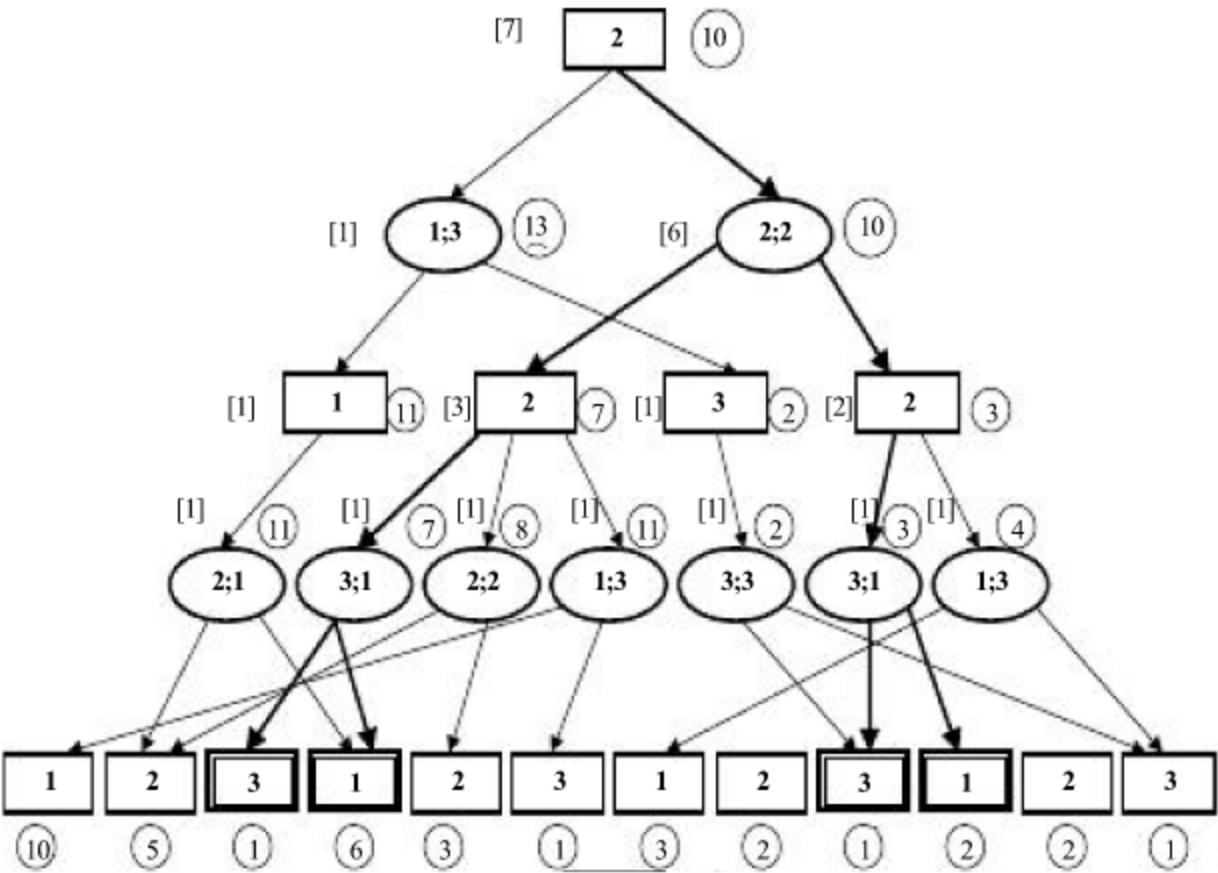


Рис. 4.19. Сеть напряженных вариантов

Индексы вершин-кружков являются произведением индексов смежных им вершин-квадратов нижнего уровня, а индексы вершин-квадратов получаются сложением индексов смежных им вершин-кружков нижнего уровня. Двигаясь таким образом снизу вверх, определяем индекс входной вершины сети. Значение этого индекса определяет число напряженных вариантов. Для сети рис. 4.19 чис-

ло напряженных вариантов равно семи (индексы указаны в квадратных скобках у соответствующих вершин).

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

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

Оптимальный набор мероприятий в рассматриваемом примере получился следующим: (3, 1, 3, 1), а функционал цели равным 10. Выбранные мероприятия на рис. 4.19 выделены двойными линиями. Таким образом, задача решена.

Задача оптимизации программы по стоимости с учётом риска, то есть задача обеспечения требуемого уровня риска с минимальными затратами, является сложной комбинаторной задачей, эффективные методы решения которой еще предстоит разработать. Однако, если принять, что мероприятия по различным рискам независимы, можно применить описанный выше алгоритм. Заметим, что произведение вероятностей достижения требуемых величин ущерба (после проведения мероприятий рассматриваемого варианта программы) дает оценку снизу вероятности получить требуемую величину полного ущерба. Поставим задачу оптимизации программы по стоимости при условии, что нижняя оценка вероятности по-

лучить требуемую величину ущерба не ниже заданной. Эта задача сводится к описанной выше задаче оптимизации по стоимости, если вероятности p_{ij} не зависят от j , то есть затраты на мероприятия на обеспечение ущерба на уровне j по показателю i выбраны таким образом, что вероятность получить оценку ущерба j не зависит от j .

Таким образом, при помощи описанного подхода можно не только определять уровень риска, но и оптимизировать затраты на его уменьшение. На сегодняшний день известны ряд обобщений описанных процедур комплексного оценивания (в том числе – *процедуры нечеткого комплексного оценивания*) и их программных реализаций – см. [98, 154, 155].

Таким образом, в настоящем разделе описаны методы формирования оптимальных программ снижения уровня риска. Выше считалось, что оценки локальных рисков и ущербов, а также их зависимости от затрат (материальных, финансовых, временных и т.д.) известны. Однако управление локальными рисками представляет собой самостоятельную задачу – для снижения локальных рисков и ущербов необходимо использование соответствующих *механизмов управления*, как на уровне отдельных предприятий – источников рисков, так и на уровне территории или региона в целом. Поэтому перейдем к рассмотрению собственно механизмов управления, сначала на уровне предприятия (глава 2), а затем – на уровне региона (глава 3).

ГЛАВА 2. МОДЕЛИ И МЕХАНИЗМЫ УПРАВЛЕНИЯ РИСКОМ НА УРОВНЕ ПРЕДПРИЯТИЯ

В дальнейшем будем рассматривать модель региона, в котором функционируют n хозяйственных объектов (например, *предприятий*), деятельность которых может привести к возникновению чрезвычайной ситуации (ЧС) на предприятии, то есть уменьшает уровень безопасности (увеличивает уровень риска) региона.

Ответственность за безопасность региона возложена на органы власти (*центр*). Полномочия, которыми располагает центр – это применение различных экономических механизмов, направленных на снижение риска. Например, распределение между предприятиями централизованного фонда, средства которого направляются предприятиями на повышение безопасности; стимулирование деятельности предприятий по снижению техногенного и природного

риска; наложение штрафа на предприятия за превышение допустимого уровня риска; взимание платы с предприятий за риск и т.д.

В рыночной экономике эффективность функционирования предприятия определяется получаемой им *прибылью*. Если считать, что вся выпущенная предприятием продукция реализуется, то прибыль i -го предприятия можно записать в виде¹⁰

$$f_i = c_i u_i - z_i(u_i) - v_i,$$

где $u_i \geq 0$ – *объем продукции*, выпускаемой на i -м предприятии;

$c_i \geq 0$ – *цена продукции*, выпускаемой на i -м предприятии;

$v_i \geq 0$ – *затраты* предприятия на предупредительные и/или природоохранные мероприятия;

$z_i(u_i)$ – *затраты* предприятия на выпуск продукции в объеме u_i .

В действительности предприятие заинтересовано не в увеличении прибыли как таковой, а лишь в той части прибыли, которая остается в его распоряжении, так как именно из прибыли предприятие осуществляет различные обязательные выплаты, такие как: налоги, всевозможные платежи, и, возможно, штрафы.

Размер обязательных выплат и показатели, от которых эти выплаты зависят, определяются действующим экономическим механизмом. Обозначим через y_i *уровень безопасности* i -го предприятия. Параметры экономического механизма настраиваются в соответствии с наблюдаемым или измеряемым уровнем безопасности. Например, если χ_i – размер штрафов за недостижение требуемого уровня безопасности x_i , то прибыль, остающаяся в распоряжении предприятия, может быть записана в виде $f_i = c_i u_i - z_i(u_i) - \chi_i(x_i, y_i)$, где

$$\chi_i(x_i, y_i) = \begin{cases} \chi_i(y_i), & \text{если } y_i < x_i \\ 0, & \text{если } y_i \geq x_i. \end{cases}$$

В случае, когда применяется экономический механизм платы за риск, то $\chi_i(x_i, y_i) = \lambda_i(x_i - y_i)$, $y_i \leq x_i$, где λ_i – цена риска для i -го предприятия.

Если для управления уровнем риска используется механизм централизованного финансирования мероприятий по снижению уровня риска, то при этом в первую очередь должны быть решены

¹⁰ Условимся здесь и далее считать, что, если некоторое выражение записано для произвольного предприятия, то оно, если не оговорено особо, справедливо и для всех остальных предприятий (с точностью до их нумерации).

вопросы, связанные с формированием централизованных фондов и, соответственно, определены процедуры распределения средств из этих фондов. Кроме того, должны быть известны мероприятия по снижению уровня риска, финансирование которых осуществляется из выделяемых средств.

И, наконец, при использовании механизма налогообложения как средства побуждения к снижению уровня риска $\chi_i = [\rho_0 - \rho(y_i)][c_i u_i - z_i(u_i)]$, где ρ_0 – базовая ставка налогообложения, $\rho(y_i)$ – величина снижения базовой ставки в зависимости от уровня безопасности.

В дальнейшем будем считать, что уровень безопасности i -го предприятия, зависит от объема выпускаемой им продукции u_i и объема средств v_i , направляемых на совершенствование технологии, на предупреждение возникновения нештатных ситуаций, укрепление производственной и технологической дисциплины, на природоохранные мероприятия. То есть $y_i = y_i(u_i, v_i)$, причем, если y интерпретируется как уровень риска, то¹¹

$$y_i(0, v_i) = 0, \frac{\partial y_i(u_i, v_i)}{\partial u_i} \geq 0, \frac{\partial y_i(u_i, v_i)}{\partial v_i} \leq 0, \frac{\partial^2 y_i(u_i, v_i)}{\partial v_i^2} \geq 0; \quad (1)$$

если же y интерпретируется как уровень безопасности, то

$$\frac{\partial y_i(u_i, v_i)}{\partial u_i} \leq 0, \frac{\partial y_i(u_i, v_i)}{\partial v_i} \geq 0, \frac{\partial^2 y_i(u_i, v_i)}{\partial v_i^2} \leq 0. \quad (1')$$

Содержательно условие (1) означает, что: при отсутствии производства отсутствует и риск; с ростом объема выпуска при неизменных затратах на природоохранные мероприятия уровень риска не убывает; с ростом затрат на природоохранные мероприятия при неизменном объеме выпуска уровень риска не возрастает; при неизменном объеме выпуска каждое последующее вложение средств в природоохранные мероприятия приносит всё меньший эффект (приводит к всё меньшему снижению уровня риска).

Так как в регионе могут находиться различные предприятия, и от аварий на этих предприятиях могут быть различные потери, то важно учитывать не только вероятность возникновения ЧС, но и *ущерб* от этих ЧС. Обозначим через W_i возможный полный ущерб в регионе при возникновении ЧС на i -м предприятии. В дальнейшем

¹¹ В данной части работы принята независимая внутри подразделов нумерация формул.

одной из важнейших характеристик возможной ЧС на i -м предприятии будем считать ожидаемый ущерб, который можно определить как¹² $E W_i$. Если события, заключающиеся в возникновении ЧС на различных предприятиях, независимы¹³, то возможный полный ущерб в регионе $E W$, связанный с деятельностью всех предприятий, расположенных на его территории, можно записать как

$$EW = \sum_{i=1}^n EW_i$$

Ожидаемый ущерб отражает эффект негативного воздействия на эколого-экономическую систему.

2.1. МЕХАНИЗМЫ ШТРАФОВ

Повысить заинтересованность предприятий в обеспечении требуемого уровня риска можно с помощью механизма штрафов [13, 95, 96, 158, 159]. При применении этого механизма для предприятия устанавливается предельно допустимый уровень риска x . В этом случае прибыль предприятия может быть записана в виде

$$f = c u - z(u) - \begin{cases} \chi(y), & \text{если } y > x, \\ 0, & \text{если } y \leq x. \end{cases}$$

Наиболее распространенные виды функций штрафа следующие (см. также введение, в котором описаны кусочно-линейные функции платы за загрязнение):

- штраф за превышение допустимого уровня риска $\chi(y) = \chi$;
- штраф за превышение допустимого уровня риска с дальнейшим линейным ростом $\chi(y) = \mu y$, где μ – коэффициент функции штрафа;
- ступенчатая функция штрафа:

$$\chi(y) = \begin{cases} \chi_1, & \text{если } y \in [x_1; x_2), \\ \chi_2, & \text{если } y \in [x_2; x_3), \\ \dots & \\ \chi_k, & \text{если } y \geq x_k. \end{cases}$$

¹² Символ «Е» здесь и далее обозначает математическое ожидание.

¹³ Необходимо признать, что данное предположение является достаточно сильным и нарушается в случае, когда ЧС на нескольких предприятиях региона вызваны одними и теми же причинами (например, природной катастрофой), или ЧС на одном из предприятий приводит к серии ЧС на соседних предприятиях и т.п.

Для того чтобы использовать такую ступенчатую функцию штрафов, необходимо задать несколько порогов превышения минимального допустимого уровня риска — x_1, x_2, \dots, x_k .

Рассмотрим более подробно случай, когда прибыль предприятия определяется выражением

$$f = cu - z(u) - \begin{cases} \chi, & \text{если } y > x, \\ 0, & \text{если } y \leq x. \end{cases}$$

Будем считать, что действует механизм сильных штрафов [26]. Это значит, что для предприятия превышение допустимого уровня риска всегда оказывается невыгодным. Кроме того, в дальнейшем будем считать, что затраты на выпуск продукции являются действительной, неотрицательной, возрастающей, выпуклой, имеющей непрерывную производную, функцией, то есть

$$z(0) = 0, \quad \frac{dz(u)}{du} > 0, \quad \frac{d^2 z(u)}{du^2} > 0, \quad (1)$$

причем

$$\left. \frac{dz(u)}{du} \right|_{u=0} = 0, \quad \left. \frac{dz(u)}{du} \right|_{u \rightarrow \infty} \rightarrow \infty. \quad (2)$$

Предположим также, что задача предприятия заключается в максимизации остающейся в распоряжении предприятия прибыли. Следовательно, при определении объема выпуска предприятие решает задачу

$$\begin{cases} cu - z(u) - v \rightarrow \max_{(u,v)}, \\ y(u, v) \leq x. \end{cases} \quad (3)$$

Пусть u^* — решение уравнения

$$\frac{df}{du} = c - \frac{dz(u)}{du} = 0. \quad (4)$$

Если $y(u^*, 0) \leq x$, то предприятие выпускает такой объем продукции u^* , который обеспечивает ему получение максимальной прибыли, и при этом предприятие не тратит свои средства на снижение уровня риска. Если же

$$y(u^*, 0) > x, \quad (5)$$

то предприятие должно либо сократить объем выпуска до размеров u^{**} , таких что

$$y(u^{**}, 0) = x, \quad (6)$$

либо потратить часть своих собственных средств на снижение уровня риска, либо комбинировать эти подходы. Другими словами,

предприятие решает либо задачу (6) и получает прибыль в размере $f^{**} = cu^{**} - z(u^{**})$, либо задачу (3) и получает прибыль в размере $f' = cu' - z(u') - v'$, где u' и v' – решение задачи (3). Ситуация $f' = f^{**}$ возникает лишь в случае

$$u' = u^{**}, v' = 0. \quad (7)$$

Утверждение 2.1. Если используется механизм сильных штрафов, справедливо (5), $v' > 0$ и $u' \neq u^{**}$, то предприятию всегда выгодно превысить объем выпуска u^{**} , потратив при этом часть своих средств на снижение уровня риска. Для доказательства необходимо доказать справедливость неравенства $f' \geq f^{**}$. Если бы $f' < f^{**}$, то пара $(u^{**}, 0)$ являлась бы решением задачи (3), но это противоречит условию утверждения. Нетрудно видеть, что $u' > u^{**}$, в противном случае $x = y(u^{**}, 0) < y(u', v')$, но тогда u' и v' не являются решением задачи (3), в силу условия (1), приведенного во введении к настоящей главе. Утверждение 2.1 доказано.

Следствие. При выполнении условий утверждения 2.1 выполняется соотношение $u' \leq u^*$. Действительно, если бы было $u' > u^*$, то можно было бы записать $y(u', 0) > y(u^*, 0)$. В то же время, $cu^* - z(u^*) \geq cu' - z(u')$. Но в силу условия (1), приведенного во введении к настоящей главе, и (3) $y(u', v') = x > y(u^*, v')$ и при этом $cu^* - z(u^*) - v' \geq cu' - z(u') - v'$, а отсюда следует, что u' и v' не являются решением задачи (3), и это противоречие доказывает следствие. Содержательно, при введении сильных штрафов объем выпуска всегда не увеличивается; предприятие заинтересовано в усилиях по снижению уровня риска, поскольку без них объем выпуска придется еще сократить.

Для решения задачи (3):

– строится Лагранжиан (λ_0 – множитель Лагранжа)

$$L = cu - z(u) - v - \lambda_0 (y(u, v) - x);$$

– ищутся производные по всем переменным, и решается полученная система уравнений

$$\begin{cases} \frac{\partial L}{\partial u} = c - \frac{\partial z(u)}{\partial u} - \lambda_0 \frac{\partial y(u, v)}{\partial u} = 0, \\ \frac{\partial L}{\partial v} = -1 - \lambda_0 \frac{\partial y(u, v)}{\partial v} = 0, \\ \frac{\partial L}{\partial \lambda_0} = y(u, v) - x = 0. \end{cases}$$

Из второго уравнения этой системы получаем $\lambda_0 = -\frac{1}{\frac{\partial y(u, v)}{\partial v}}$. Под-

ставив это выражение в первое уравнение, имеем

$$\begin{cases} c - \frac{\partial z(u)}{\partial u} + \frac{1}{\frac{\partial y(u, v)}{\partial v}} \frac{\partial y(u, v)}{\partial u} = 0, \\ y(u, v) - x = 0. \end{cases} \quad (8)$$

Таким образом, u' и v' являются решением системы (8).

В дальнейшем в качестве иллюстративного примера будем рассматривать следующую зависимость уровня риска от объема выпуска и размера средств на снижение уровня риска [158]

$$y(u, v) = \frac{\omega(u)}{\omega(u) + \theta(v)}, \quad (9)$$

где $\omega(u)$ и $\theta(v)$ – известные дважды непрерывно дифференцируемые функции, такие что

$$\omega(0) = \frac{d\omega(u)}{du} \Big|_{u=0} = 0, \quad \frac{d\omega(u)}{du} > 0, \quad \frac{d^2\omega(u)}{du^2} \geq 0, \quad (10)$$

$$\theta(0) = T, \quad \frac{d\theta(v)}{dv} \Big|_{v=0} \neq 0, \quad \frac{d\theta(v)}{dv} > 0, \quad \frac{d^2\theta(v)}{dv^2} \leq 0. \quad (11)$$

В этом случае система (8) может быть представлена в виде¹⁴

$$\begin{cases} c - \frac{dz(u)}{du} - \frac{\omega' \theta}{\omega \theta'} = 0, \\ \frac{\omega(u)}{\omega(u) + \theta(v)} - x = 0. \end{cases} \quad (12)$$

Выразив из второго уравнения системы (12) $\theta(v)$, а затем, выразив v как функцию u и x , и подставив его в первое уравнение, получаем уравнение относительно u :

$$c - \frac{dz(u)}{du} - \frac{1-x}{x} \frac{\omega'}{\frac{d\theta}{dv} \Big|_{v=v(u, x)}} = 0. \quad (13)$$

Утверждение 2.2. Для того чтобы уравнение (13) имело решение, достаточно, чтобы выполнялись условия (1), (2) и (10), (11).

Доказательство утверждения 2.2. Обозначим

¹⁴ Символ «'» у функции здесь и иногда ниже обозначает производную, нижний индекс обозначает переменную, по которой производная вычисляется

$$\Psi(u) = \frac{dz(u)}{du} + \frac{1-x}{x} \frac{\omega'}{\left. \frac{d\theta}{dv} \right|_{v=v(u,x)}}.$$

В силу условий (2) и (10) $\Psi(0) = 0$. С другой стороны, в силу условий (1), (10) и (11) можно подобрать такое \tilde{u} , чтобы было справедливо неравенство

$$\Psi(u) = \frac{dz(u)}{du} \Big|_{u=\tilde{u}} + \frac{1-x}{x} \frac{\left. \frac{d\omega}{du} \right|_{u=\tilde{u}}}{\left. \frac{d\theta}{dv} \right|_{v=v(\tilde{u},x)}} > c.$$

Таким образом, непрерывная функция $\Psi(u)$ определена на отрезке $[0, \tilde{u}]$ и в крайних точках этого отрезка она принимает не равные значения $\Psi(0) < \Psi(\tilde{u})$, а по теореме о промежуточном значении функции, для любого $\Psi(0) < c < \Psi(\tilde{u})$ существует, по меньшей мере, одна такая точка u , $0 < u < \tilde{u}$, что $\Psi(u) = c$. Этот вывод и доказывает утверждение 2.2.

Таким образом, изменяя предельно допустимый уровень риска x , можно влиять на объем выпуска продукции на предприятии и на объем средств, выделяемых предприятием на снижение уровня риска.

Утверждение 2.3. Если зависимость уровня риска от объема выпуска и размера средств на снижение уровня риска определяются выражением (9), и выполняются условия (10), то уменьшение допустимого уровня риска всегда приводит к уменьшению объема выпуска.

Доказательство утверждения 2.3. Необходимо показать, что $\frac{du}{dx} > 0$. Из второго уравнения системы (12) получаем $\theta(v) = \omega(u) \frac{1-x}{x}$. Подставив это значение в первое уравнение системы (12), можно записать

$$\begin{cases} F(x, u, v) = c - \frac{dz(u)}{du} - \frac{1-x}{x} \frac{\omega'(u)}{\theta'(v)} = 0, \\ \Phi(x, u, v) = \frac{\omega(u)}{\omega(u) + \theta(v)} - x = 0. \end{cases} \quad (14)$$

Эта система уравнений задает две функции одной переменной $u(x)$ и $v(x)$. Производные этих функций, заданных системой (14), записываются в виде

$$\frac{du}{dx} = \frac{F'_v \Phi'_x - F'_x \Phi'_v}{F'_u \Phi'_v - F'_v \Phi'_u} \quad (15)$$

и, соответственно,

$$\frac{dv}{dx} = \frac{F'_x \Phi'_u - F'_u \Phi'_x}{F'_u \Phi'_v - F'_v \Phi'_u}. \quad (16)$$

Так $F'_x = \frac{1}{x^2} \frac{\omega'(u)}{\theta'(v)}$, $F'_u = -\frac{d^2 z(u)}{du^2} - \frac{1-x}{x} \frac{\omega''(u)}{\theta'(v)}$, $F'_v = \frac{1-x}{x} \frac{\omega'(u)\theta''(v)}{[\theta'(v)]^2}$, $\Phi'_x = -1$, $\Phi'_u = x(1-x) \frac{\omega'(u)}{\omega(u)}$ и $\Phi'_v = -\frac{\theta'(v)}{\omega(u)} x^2$, то (15) можно переписать как

$$\frac{du}{dx} = \frac{\frac{\omega'(u)}{\omega(u)} - \frac{1-x}{x} \frac{\omega'(u)\theta''(v)}{[\theta'(v)]^2}}{\left[\frac{d^2 z(u)}{du^2} + \frac{1-x}{x} \frac{\omega''(u)}{\theta'(v)} \right] \frac{\theta'(v)}{\omega(u)} x^2 - (1-x)^2 \frac{\theta''(v)[\omega'(u)]^2}{\omega(u)[\theta'(v)]^2}}.$$

Учитывая условия (10) и (11), можно утверждать, что числитель и знаменатель этой дроби ~~положительны~~, поэтому $\frac{du}{dx} > 0$. Утверждение 2.3 доказано.

Содержательно, результат утверждения 2.3 – довольно естественный вывод. Чем более высокие требования предъявляются к уровню безопасности производства при действии механизма сильных штрафов, тем менее активно осуществляется производственная деятельность, что и приводит к снижению уровня выпуска продукции. Но при этом остается вопрос: «Как изменяется объем средств, выделяемых предприятием для снижения уровня риска, если происходит изменение допустимого уровня риска?».

Для этого определим количество собственных средств v_δ , которое выделяет предприятие на снижение уровня риска, если допустимый уровень риска принимает значение

$$x = y(u^*, 0) - \delta = \frac{\omega(u^*)}{\omega(u^*) + T} - \delta,$$

где $\delta > 0$ – малая величина. Для максимизации своей прибыли предприятие решает задачу (3), которую можно записать в виде

$$\begin{cases} cu - z(u) - v \rightarrow \max \\ \frac{\omega(u)}{\omega(u) + \theta(v)} = \frac{\omega(u^*)}{\omega(u^*) + T} - \delta. \end{cases}$$

Пусть u_δ и v_δ – решение этой задачи. Тогда справедливо выражение

$$\delta = \frac{\omega(u^*)\theta(v_\delta) - \omega(u_\delta)T}{(\omega(u^*) + T)[\omega(u_\delta) + \theta(v_\delta)]}.$$

Очевидно, что при $\delta \rightarrow 0$ $\omega(u^*)\theta(v_\delta) - \omega(u_\delta)T \rightarrow 0$ или

$$\lim_{\delta \rightarrow 0} \frac{\omega(u_\delta)}{\theta(v_\delta)} = \frac{\omega(u^*)}{T}. \quad (17)$$

Докажем, что при $\delta \rightarrow 0$ $u_\delta \rightarrow u^*$ и $v_\delta \rightarrow 0$. Обозначим $\lim_{\delta \rightarrow 0} u_\delta = u_0$ и $\lim_{\delta \rightarrow 0} v_\delta = v_0$. Из следствия к утверждению 2.1 следует, что $u_\delta \leq u^*$ и $v_\delta > \tilde{0}$. Пусть $u_0 < u^*$, тогда в силу (10) справедливо $\omega(u_0) < \omega(u^*)$, поэтому даже если $v_0 = 0$, равенство (17) выполняться не будет. А это означает, что при $\delta \rightarrow 0$ $u_\delta \rightarrow u^*$ и $v_\delta \rightarrow 0$.

Фактически показано, что небольшое превышение $y(u^*, 0)$ над допустимым уровнем риска не приводит к скачку средств, выделяемых предприятием на снижение уровня риска. Этот рост происходит постепенно, по мере уменьшения x . С другой стороны, из утверждения 2.3 следует, что по мере уменьшения x происходит уменьшение объема выпуска. Очевидно, что на всем диапазоне уменьшения x от $y(u^*, 0)$ до 0 одновременное увеличение объема средств, выделяемых предприятием на снижение уровня риска, и уменьшение объема выпуска, происходить не может. Действительно, так как уменьшается объем выпуска, то падает и прибыль предприятия, а это может привести к тому, что прибыль предприятия упадет настолько, что окажется меньше объема средств, которые необходимо выделить на снижение уровня риска. То есть, прибыль за вычетом средств на снижение уровня риска окажется отрицательной. В то же время, предприятие может просто определить объем выпуска из условия (6), который обеспечит для него положительную прибыль и при этом $v = 0$. Следовательно, при некотором достаточно маленьком $x = x_m$ из решения системы (12) можно получить $v' = 0$. А это значит, что при уменьшении x на отрезке $[x_m; y(u^*, 0)]$ значение переменной v' сначала возрастает от нуля до некоторой величины, а потом убывает до нуля. А в этом случае производная $\frac{dv}{dx}$ должна быть сначала положительной, а потом отрицательной.

Перепишем (16) в виде

$$\frac{dv}{dx} = \frac{\frac{1-x}{x} \frac{[\omega'(u)]^2}{\omega(u)\theta'(v)} - \left[\frac{d^2 z(u)}{du^2} + \frac{1-x}{x} \frac{\omega''(u)}{\theta'(v)} \right]}{\left[\frac{d^2 z(u)}{du^2} + \frac{1-x}{x} \frac{\omega''(u)}{\theta'(v)} \right] \frac{\theta'(v)}{\omega(u)} x^2 - (1-x)^2 \frac{\theta''(v)[\omega'(u)]^2}{\omega(u)[\theta'(v)]^2}}.$$

Знаменатель этой дроби положителен. Поэтому знак производной определяется числителем. Запишем его в виде

$$-\left\{ \frac{1-x}{x\theta'(v)} \frac{\omega(u)\omega''(u) - [\omega'(u)]^2}{\omega(u)} + \frac{d^2 z(u)}{du^2} \right\}.$$

Легко видеть, что $\frac{dv}{dx}$ может менять знак, если $\omega(u)\omega''(u) - [\omega'(u)]^2 < 0$.

Обозначим $\omega(u)\omega''(u) - [\omega'(u)]^2 = [\omega(u)]^2 \Xi(u)$, где $\Xi(u) < 0$, тогда можно записать $\frac{\omega(u)\omega''(u) - [\omega'(u)]^2}{[\omega(u)]^2} = \Xi(u)$. Это выражение предста-

вим в виде $\frac{\omega(u)\omega''(u) - [\omega'(u)]^2}{[\omega(u)]^2} = \left(\frac{\omega'(u)}{\omega(u)} \right)' = \Xi(u)$. Интегрируя его, получаем

$\frac{\omega'(u)}{\omega(u)} = \int \Xi(u) du$. В свою очередь, это выражение можно представить

в виде $[\ln \omega(u)]' = \int \Xi(u) du$, интегрируя которое, получаем $\ln \omega(u) = \int \Xi(u) du$.

Из этого равенства можно определить $\omega(u) = e^{\int \Xi(u) du}$. Таким образом, задавая функцию $\Xi(u) < 0$, можно определить $\omega(u)$.

Пусть $\Xi(u) = -\frac{k}{u^2}$, где $k > 0$, тогда $[\ln \omega(u)]' = \frac{k}{u} + C_1$. Интегрируя еще раз, получаем $\ln \omega(u) = k \ln u + C_1 u + C_2$ или

$$\omega(u) = u^k e^{C_1 u + C_2}. \quad (18)$$

Для иллюстрации полученных результатов рассмотрим следующий пример. Пусть

$$z = \frac{1}{2} r q \left(\frac{u^2}{q^2} + 1 \right), \quad \omega(u) = w u^2, \quad \theta(v) = \theta_0 v + T, \quad (19)$$

где q – объем продукции, обеспечивающий предприятию минимальную себестоимость продукции; r – минимальная себестоимость; w – коэффициент, характеризующий влияние объема выпус-

ка продукции на уровень природно-техногенного риска; θ_0 – коэффициент, характеризующий эффективность использования средств, направляемых на снижение уровня риска; T – показатель, характеризующий безопасность производства.

Зависимость $\omega(u) = wu^2$ получается из (18), если положить $k = 2$, $C_1 = 0$, $w = e^{c_2}$. Тогда

$$y(u, v) = \frac{wu^2}{wu^2 + \theta_0 v + T}. \quad (20)$$

Если бы при функционировании предприятия не накладывались ограничения на уровень риска, объем выпуска составил бы величину $u^* = \frac{cq}{r}$, а уровень риска был бы равен $y^* = \frac{wc^2 q^2}{wc^2 q^2 + Tr^2}$.

Если же допустимый уровень риска x таков, что $y^* > x$, то для определения объема выпуска необходимо решить систему уравнений (12), которую в этом случае можно переписать в виде

$$\begin{cases} c - \frac{r}{q}u - \frac{2(\theta_0 v - T)}{u\theta_0} = 0, \\ \frac{wu^2}{wu^2 + \theta_0 v + T} = x. \end{cases}$$

Решение этой системы дает:

$$u = \frac{\theta_0 q c x}{2q w (1-x) + \theta_0 r x}, \quad v = w \theta_0 q^2 c^2 \frac{x(1-x)}{[2q w (1-x) + \theta_0 r x]^2} - \frac{T}{\theta_0}.$$

Отсюда легко получить

$$\frac{\partial u}{\partial x} = \theta_0 q c e^{-\frac{2q w}{[2q w + (2q w - \theta_0 r)x]^2}} > 0,$$

и, соответственно,

$$\frac{\partial v}{\partial x} = w \theta_0 q^2 c^2 \frac{2q w - (2q w + \theta_0 r)x}{[\theta_0 r x + 2q w (1-x)]^3}.$$

Из последнего выражения видно, что

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial x} &> 0, \quad \text{если} \quad x < \frac{2q w}{2q w + \theta_0 r}, \\ \frac{\partial v}{\partial x} &> 0, \quad \text{если} \quad x > \frac{2q w}{2q w + \theta_0 r}. \end{aligned} \quad (21)$$

То есть, существует такой уровень риска, при котором объем средств, направляемых предприятием на поддержание уровня безопасности, оказывается максимальным.

Пусть $r = 20$, $q = 200$, $c = 80$, $w = 0,01$, $\theta_0 = 0,8$ и $T = 1500$. Графики изменения объема выпуска и размера средств на поддержание уровня безопасности в зависимости от предельно допустимого уровня риска представлены на рис. 4.20 и рис. 4.21. Из выражения (21) и рис. 4.21 видно, что максимальный объем средств, направляемых на снижение уровня риска, предприятие направляет при установленном предельном уровне уровне риске равным 0,2.

Анализ показывает, что в данном примере предприятию (при действии механизма сильных штрафов), имеет смысл начинать выпуск продукции, если предельно допустимый уровень риска больше 0,001, в противном случае производственная деятельность принесет предприятию только убытки.

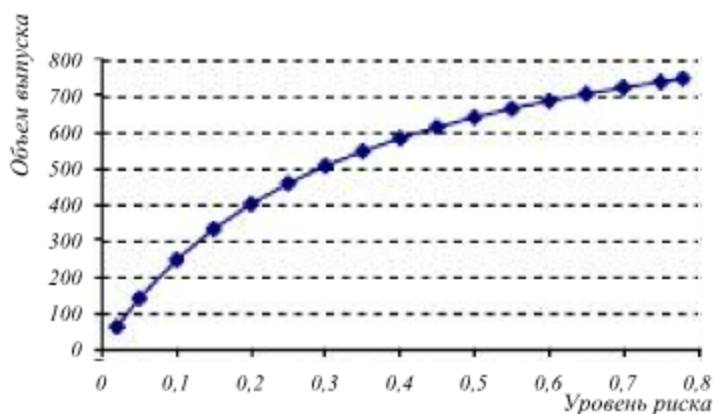


Рис. 4.20. Изменение объема выпуска в зависимости от предельно допустимого уровня риска

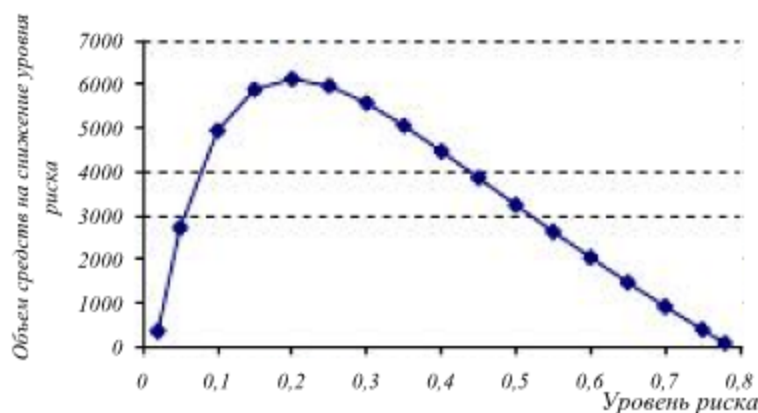


Рис. 4.21. Изменение размера средств на поддержание уровня риска в зависимости от предельно допустимого уровня риска

На рис. 4.22 представлена зависимость изменения прибыли предприятия в зависимости от предельно допустимого уровня риска.

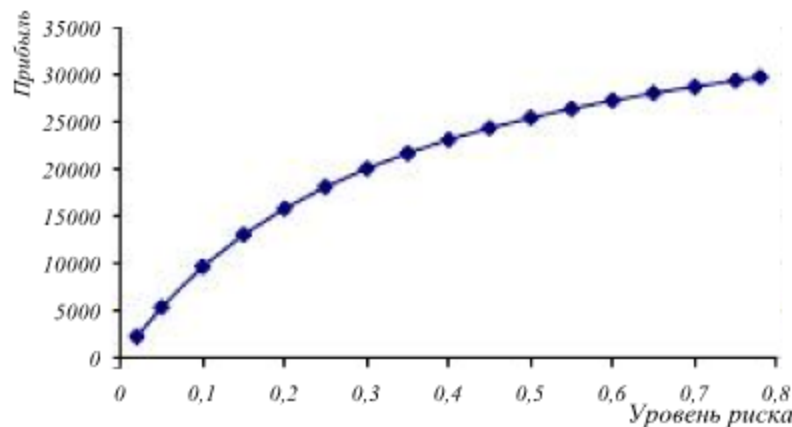


Рис. 4.22. Изменение прибыли в зависимости от предельно допустимого уровня риска

2.2. МЕХАНИЗМЫ ПЛАТЫ ЗА РИСК

При использовании механизма платы за риск основным рычагом, позволяющим управлять уровнем риска, является цена риска λ , которая устанавливается центром [17, 32, 98, 157]. В этом случае прибыль предприятия определяется как

$$f = c u - z(u) - \lambda y(u, v) - v. \quad (1)$$

Для максимизации своей прибыли предприятие определяет, сколько продукции $u \geq 0$ надо выпустить, и какой объем средств $v \geq 0$ необходимо направить на снижение уровня риска. Другими словами, предприятие решает задачу

$$\begin{cases} \frac{\partial f}{\partial u} = c - \frac{dz(u)}{du} - \lambda \frac{\partial y(u, v)}{\partial u} = 0, \\ \frac{\partial f}{\partial v} = -\lambda \frac{\partial y(u, v)}{\partial v} - 1 = 0. \end{cases} \quad (2)$$

Пусть u^* и v^* – решение системы (2). Тогда u^* и v^* обеспечивают получение максимальной прибыли предприятию, если выполняются условия максимума:

$$\frac{\partial^2 f}{\partial u^2} = -\frac{\partial^2 z}{\partial u^2} - \lambda \frac{\partial^2 y}{\partial u^2} < 0, \quad (3)$$

$$\frac{\partial^2 f}{\partial v^2} = -\lambda \frac{\partial^2 y}{\partial v^2} < 0, \quad (4)$$

$$\Delta = \frac{\partial^2 f}{\partial u^2} \frac{\partial^2 f}{\partial v^2} - \left(\frac{\partial^2 f}{\partial u \partial v} \right)^2 = \lambda \left(\frac{\partial^2 z}{\partial u^2} + \lambda \frac{\partial^2 y}{\partial u^2} \right) \frac{\partial^2 y}{\partial v^2} - \lambda^2 \left(\frac{\partial^2 f}{\partial u \partial v} \right)^2 > 0. \quad (5)$$

Утверждение 2.4. Если u^* и v^* – решение системы (2) и u^* и v^* обеспечивают предприятию получение максимальной прибыли, то увеличение цены риска всегда приводит к уменьшению объема выпуска.

Доказательство утверждения 2.4. Достаточно показать, что $\frac{du^*}{d\lambda} < 0$. Систему уравнений (2) запишем в виде

$$\begin{cases} \tilde{F}(\lambda, u, v) = c - \frac{dz(u)}{du} - \lambda \frac{\partial y(u, v)}{\partial u} = 0, \\ \tilde{\Phi}(\lambda, u, v) = -\lambda \frac{\partial y(u, v)}{\partial v} - 1 = 0. \end{cases} \quad (6)$$

Эта система уравнений задает две функции одной переменной $u(\lambda)$ и $v(\lambda)$. Производная функции $u(\lambda)$ записывается в виде

$$\frac{du}{d\lambda} = \frac{\tilde{F}'_v \tilde{\Phi}'_\lambda - \tilde{F}'_\lambda \tilde{\Phi}'_v}{\tilde{F}'_u \tilde{\Phi}'_v - \tilde{F}'_v \tilde{\Phi}'_u}. \quad (7)$$

Так как

$$\begin{aligned} \tilde{F}'_\lambda &= -\frac{\partial y(u, v)}{\partial u}, \tilde{F}'_u = -\frac{\partial^2 z(u)}{\partial u^2} - \lambda \frac{\partial^2 y(u, v)}{\partial u^2}, \tilde{F}'_v = -\lambda \frac{\partial^2 y(u, v)}{\partial u \partial v}, \\ \tilde{\Phi}'_\lambda &= -\frac{\partial y(u, v)}{\partial v}, \tilde{\Phi}'_u = -\lambda \frac{\partial^2 y(u, v)}{\partial u \partial v}, \tilde{\Phi}'_v = -\lambda \frac{\partial^2 y(u, v)}{\partial v^2}, \end{aligned} \quad (8)$$

то (6) можно переписать как

$$\frac{du}{d\lambda} = \frac{\frac{\partial^2 y(u, v)}{\partial u \partial v} \frac{\partial y(u, v)}{\partial v} - \frac{\partial y(u, v)}{\partial u} \frac{\partial^2 y(u, v)}{\partial v^2}}{\left(\frac{\partial^2 z(u)}{\partial u^2} + \lambda \frac{\partial^2 y(u, v)}{\partial u^2} \right) \frac{\partial^2 y(u, v)}{\partial v^2} - \lambda \left[\frac{\partial^2 y(u, v)}{\partial u \partial v} \right]^2}. \quad (9)$$

Так как u^* и v^* обеспечивают предприятию получение максимальной прибыли, то в силу (5) знаменатель дроби (9) положителен. Рассмотрим теперь числитель этой дроби. Из выражения (9) предыдущего раздела следует, что

$$\begin{aligned} \frac{\partial x(u, v)}{\partial v} &= -\frac{\omega(u)\theta'(v)}{[\omega(u) + \theta(v)]^2}, \frac{\partial^2 y(u, v)}{\partial v^2} = \omega(u) \frac{2[\theta'(v)]^2 - \theta''(v)[\omega(u) + \theta(v)]}{[\omega(u) + \theta(v)]^3}, \\ \frac{\partial y(u, v)}{\partial u} &= \frac{\omega'(u)\theta(v)}{[\omega(u) + \theta(v)]^2}, \frac{\partial^2 y(u, v)}{\partial u^2} = \theta(v) \frac{\omega''(u)[\omega(u) + \theta(v)] - 2[\omega'(u)]^2}{[\omega(u) + \theta(v)]^3}, \\ \frac{\partial^2 y(u, v)}{\partial u \partial v} &= \omega'(u)\theta'(v) \frac{\omega(u) - \theta(v)}{[\omega(u) + \theta(v)]^3}. \end{aligned} \quad (10)$$

Поэтому числитель дроби (9) можно записать как

$$-\omega'(u)\omega(u)\frac{[\theta'(v)]^2 - \theta''(v)\theta(v)}{[\omega(u) + \theta(v)]^4}.$$

Из выражений (9) и (10) следует, что это выражение меньше нуля, следовательно, $\frac{du^*}{d\lambda} < 0$. Утверждение 2.4 доказано.

Что касается изменения объема средств, направляемых на снижение уровня риска, то, проведя рассуждения аналогичные тем, которые были проведены выше при определении зависимости $v(x)$, легко показать, что с увеличением цены за риск объем средств, направляемых на снижение уровня риска предприятием, сначала возрастает, а потом падает. Действительно, производная функции $v(\lambda)$ записывается в виде $\frac{dv}{d\lambda} = \frac{\tilde{F}'_\lambda \tilde{\Phi}'_u - \tilde{F}'_u \tilde{\Phi}'_\lambda}{\tilde{F}'_u \tilde{\Phi}'_v - \tilde{F}'_v \tilde{\Phi}'_u}$.

Выше было показано, что знаменатель этой дроби положителен, а числитель записывается как

$$\tilde{F}'_\lambda \tilde{\Phi}'_u - \tilde{F}'_u \tilde{\Phi}'_\lambda = \lambda \frac{\partial y(u, v)}{\partial u} \frac{\partial^2 y(u, v)}{\partial u \partial v} - \left(\frac{d^2 z(u)}{du^2} + \lambda \frac{\partial^2 y(u, v)}{\partial u^2} \right) \frac{\partial y(u, v)}{\partial v}. \quad (11)$$

Учитывая (10), можно переписать (11) в виде

$$\frac{\theta'(v)}{[\omega(u) + \theta(v)]^2} \left\{ \frac{\lambda \theta(v)}{[\omega(u) + \theta(v)]^2} [\omega(u)\omega''(u) - [\omega'(u)]^2] + \omega(u) \frac{d^2 z(u)}{du^2} \right\}.$$

А так как $\omega(u)$ таково, что

$$\omega(u)\omega''(u) - [\omega'(u)]^2 < 0, \quad (12)$$

то возможна ситуация, когда числитель (9) может принимать как положительное, так и отрицательное значение.

Естественным представляется допущение, что

$$\frac{dy_i}{d\lambda} < 0, \quad (13)$$

то есть с ростом платы за риск уровень риска падает. Тогда размер средств, который выплачивает предприятие в виде платы за риск, определяется выражением $\lambda y(u, v) = \lambda \frac{\omega(u)}{\omega(u) + \theta(v)}$.

Утверждение 2.5. С ростом цены λ плата за риск сначала увеличивается, а потом уменьшается. Доказательство утверждения 2.5. Вычислим $\frac{\partial \lambda y(u, v)}{\partial \lambda} = y(u, v) + \lambda \frac{\partial y(u, v)}{\partial \lambda}$. Очевидно, что при $\lambda = 0$, $v = 0$, а $y(u, 0) > 0$, следовательно, плата за риск возрастает. В то же время, в силу (13) и при достаточно большом значении λ уровень риска

$y(u, v)$ мал, а $\lambda \frac{dy_i}{d\lambda} < 0$, поэтому плата за риск убывает. Утверждение 2.5 доказано.

Пусть имеют место зависимости (19) и (20) предыдущего раздела. Тогда систему уравнений (2) для этого случая можно переписать в виде

$$\begin{cases} \frac{\partial f}{\partial u} = c - \frac{r}{q}u - \lambda w \frac{2u(wu^2 + \theta_0 v + T) - 2wu^3}{(wu^2 + \theta_0 v + T)^2} = 0, \\ \frac{\partial f}{\partial v} = \lambda w u^2 \frac{\theta_0}{(wu^2 + \theta_0 v + T)^2} - 1 = 0. \end{cases}$$

Решение этой системы записывается в виде

$$u^* = q \frac{2\sqrt{\lambda w \theta_0} - c \theta_0}{2wq - \theta_0 r}, \quad v^* = \frac{q}{2} \frac{2\sqrt{\lambda w p} - cp}{2wq - pr} \left(c - r \frac{2\sqrt{\lambda w p} - cp}{2wq - pr} \right) - \frac{T}{p}.$$

Для выполнения условий максимума (3)-(5) должны выполняться условия $2q\bar{w} - \theta_0 r < 0$ и $2\sqrt{\lambda w \theta_0} - c \theta_0 < 0$. Нетрудно видеть, что

$$\frac{\partial u^*}{\partial \lambda} = q \frac{\sqrt{w \theta_0}}{\sqrt{\lambda}(2q\bar{w} - \theta_0 r)} < 0, \text{ и, соответственно,}$$

$$\frac{\partial v^*}{\partial \lambda} = \frac{\sqrt{w \theta_0}}{\sqrt{\lambda}} q \frac{2cwq - 4r\sqrt{\lambda w \theta_0} + rc \theta_0}{2(2wq - \theta_0 r)^2}.$$

Из последнего выражения видно, что

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial \lambda} &> 0, \text{ если } \lambda < \frac{(2wq + r\theta_0)^2 c^2}{16r^2 w \theta_0}, \\ \frac{\partial v}{\partial \lambda} &< 0, \text{ — если } \lambda > \frac{(2wq + r\theta_0)^2 c^2}{16r^2 w \theta_0}. \end{aligned} \tag{14}$$

То есть существует такое значение цены, при котором объем средств, направляемых предприятием на поддержание уровня безопасности, оказывается максимальным.

Для значений параметров r, q, c, w, θ_0 и T , приведенных в предыдущем разделе, графики изменения объема выпуска и размера средств на поддержание уровня безопасности в зависимости от цены за риск представлены на рис. 4.23 и 4.24. Из выражения (14) и рис. 4.24 видно, что максимальный объем средств, направляемых на снижение уровня риска, предприятие направляет при цене за риск, равной 50000. На рис. 4.25 представлена зависимость изменения прибыли предприятия от цены за риск. Анализ показывает, что в данном примере предприятию при действии механизма платы за риск следует прекращать выпуск продукции, если цена за риск

больше 114518, в противном случае производственная деятельность принесет предприятию только убытки.

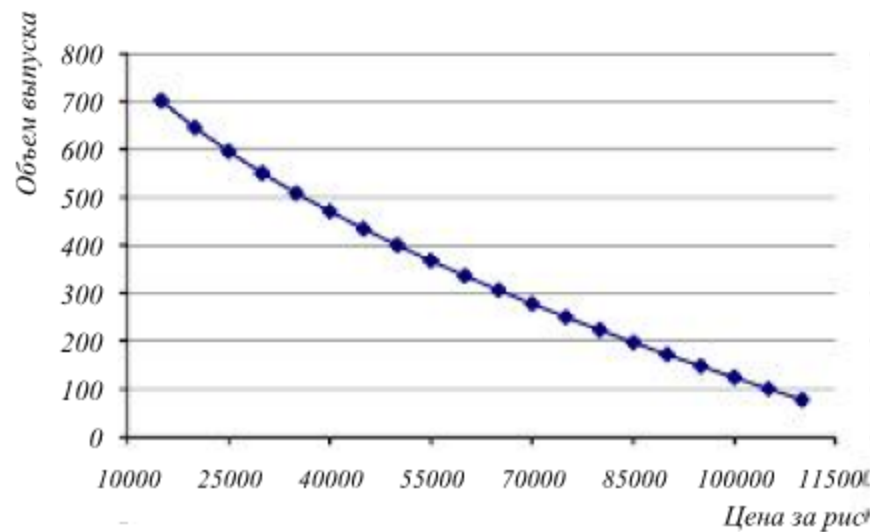


Рис. 4.23. Изменение объема выпуска в зависимости от цены за риск

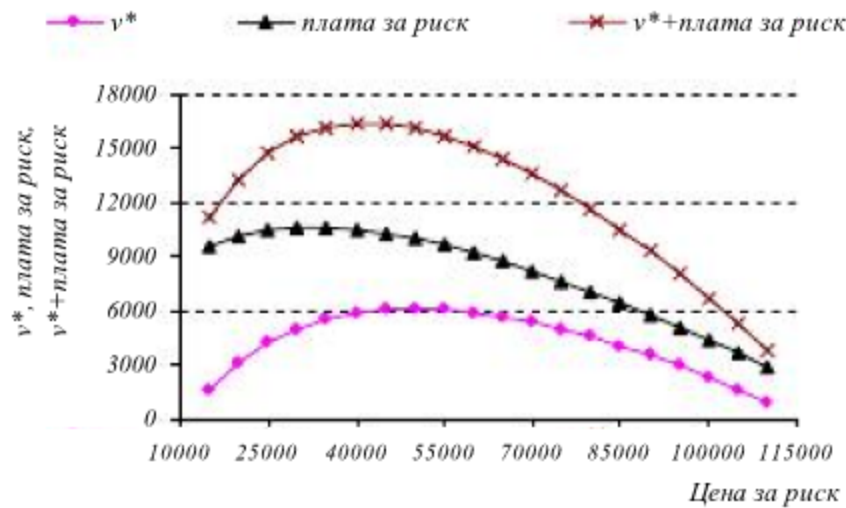


Рис. 4.24. Изменение средств на поддержание уровня безопасности в зависимости от цены за риск

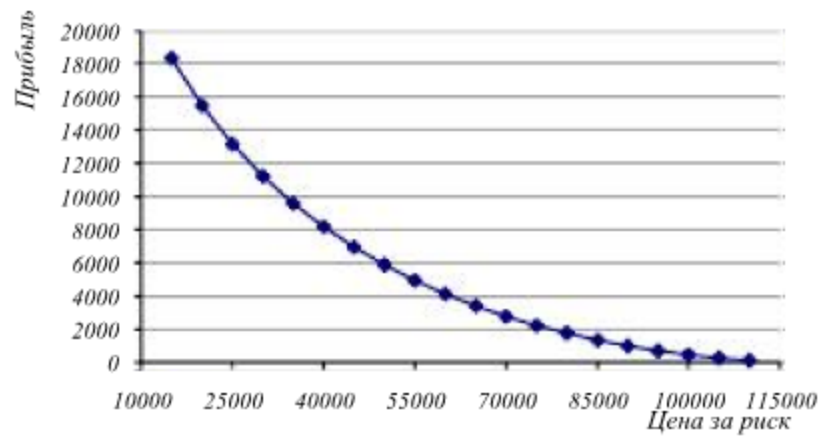


Рис. 4.25. Изменение прибыли в зависимости от цены за риск

И, наконец, на рис. 4.26 представлена зависимость изменения уровня риска, связанного с деятельностью предприятия, в зависимости от установленной цены за риск.

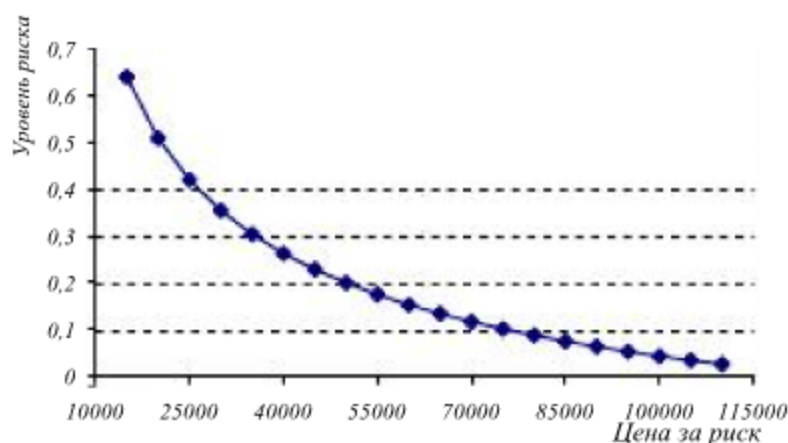


Рис. 4.26. Изменение уровня риска в зависимости от цены за риск

Напомним, что при установленной цене за риск предприятие выбирает такие u^* и v^* , чтобы получить максимум своей прибыли. Для цены за риск равной 114518 предприятие выпускает продукцию в объеме $u^* = 58$ единиц, тратит средств на поддержание уровня безопасности в размере $v^* = 276,8$. Уровень риска при этом составляет 0,0192, а прибыль предприятия равна нулю.

2.3. МЕХАНИЗМЫ ФИНАНСИРОВАНИЯ СНИЖЕНИЯ УРОВНЯ РИСКА

Собственные средства на снижение уровня риска предприятие выделяет в том случае, когда в регионе осуществляется контроль уровня риска (например, в виде штрафов или платы за риск), если же такого контроля нет, то у предприятия нет экономических стимулов отвлекать собственные средства на снижение уровня риска. Более того, даже если предприятия получают дополнительные средства на снижение уровня риска, эффективность использования этих средств будет выше, если на предприятии осуществляется контроль уровня риска [2]. Поэтому в дальнейшем будем считать, что на предприятии действует механизм сильных штрафов, то есть

для максимизации своей прибыли на предприятии решается задача¹⁵ (2.1.12).

Механизмы финансирования мероприятий по снижению уровня риска основываются на распределении средств централизованного фонда. Предположим, из центра предприятию выделено V единиц средств на снижение уровня риска, и на предприятии действует механизм сильных штрафов, тогда легко показать, что при максимизации своей прибыли предприятие уменьшает размер собственных средств на снижение уровня риска на величину V . Действительно, пусть u' и v' – решение задачи (2.1.12), то есть u' – оптимальный объем выпуска, а v' – оптимальный объем средств, направляемый предприятием на снижение уровня риска. Если предприятие получило V единиц средств на снижение уровня риска, то для максимизации своей прибыли оно будет решать задачу

$$\begin{cases} c - \frac{dz(u)}{du} - \frac{\omega'(u)\theta(v+V)}{\omega(u)\theta'(v+V)} = 0, \\ \frac{\omega(u)}{\omega(u) + \theta(v+V)} - x = 0. \end{cases} \quad (1)$$

Обозначим $\tilde{v} = v + V$, тогда (1) можно представить в виде

$$\begin{cases} c - \frac{dz(u)}{du} - \frac{\omega'(u)\theta(\tilde{v})}{\omega(u)\theta'(\tilde{v})} = 0, \\ \frac{\omega(u)}{\omega(u) + \theta(\tilde{v})} - x = 0. \end{cases} \quad (2)$$

Пусть u'' и \tilde{v}'' – решение этой задачи. Сравнивая систему (2.1.12) и (2), легко видеть, что $u'' = u'$ и $\tilde{v}'' = v'$, но $\tilde{v}'' = v'' + V$, поэтому $v'' = v' - V$. То есть, объем средств, направляемых предприятием на снижение риска, уменьшился на величину V .

2.4. МЕХАНИЗМЫ КОМПЕНСАЦИИ ЗАТРАТ НА СНИЖЕНИЕ УРОВНЯ РИСКА

Механизм компенсации затрат предполагает компенсацию предприятию всех или части потраченных средств на снижение уровня риска. При действии этого механизма центр заранее объявляет, какую часть потраченных предприятием средств он компенсирует из централизованного фонда. Как и в предыдущем разделе, будем счи-

¹⁵ При ссылке на формулу другого раздела используется тройная нумерация, включающая номер главы, номер раздела и номер формулы.

тать, что собственные средства на снижение уровня риска предприятие выделяет в том случае, когда в регионе осуществляется контроль уровня риска. Так, если центр компенсирует $(1 - b)$ -ю часть средств, израсходованных предприятием, то при действии механизма компенсации затрат прибыль предприятия будет определяться выражением

$$f = cu - z(u) - \lambda y(u, v) - b v. \quad (1)$$

Например, если $b = 1$, то все средства на снижение уровня риска выделяет предприятие, то есть центр не компенсирует ничего. Если $b = 0$, то все потраченные средства компенсируются центром. В дальнейшем будем считать, что $0 < b < 1$.

Утверждение 2.6. Чем бóльшая часть средств, потраченных предприятием на снижение уровня риска, компенсируется центром, тем больше средств выделяет предприятие на снижение уровня риска.

Доказательство утверждения 2.6. Если прибыль предприятия определяется выражением (1), то для максимизации своей прибыли предприятие решает задачу

$$\begin{cases} \frac{\partial f}{\partial u} = c - \frac{dz(u)}{du} - \lambda \frac{\partial y(u, v)}{\partial u} = 0, \\ \frac{\partial f}{\partial v} = -\lambda \frac{\partial y(u, v)}{\partial v} - b = 0. \end{cases} \quad (2)$$

Пусть u_b и v_b – решение задачи (2). Тогда надо показать, что, если уменьшается b , то v_b увеличивается.

Аналогично выражению (2.2.6) можно записать

$$\begin{cases} \tilde{F}(b, u, v) = c - \frac{dz(u)}{du} - \lambda \frac{\partial y(u, v)}{\partial u} = 0, \\ \bar{\Phi}(b, u, v) = -\lambda \frac{\partial y(u, v)}{\partial v} - b = 0. \end{cases}$$

Производная функции v_b в этом случае записывается в виде $\frac{dv_b}{db} = \frac{\tilde{F}'_b \bar{\Phi}'_u - \tilde{F}'_u \bar{\Phi}'_b}{\tilde{F}'_u \bar{\Phi}'_v - \tilde{F}'_v \bar{\Phi}'_u}$. Так как $\tilde{F}'_b = 0$ и $\bar{\Phi}'_b = -1$, то, учитывая (2.2.8),

$$\text{можно записать } \frac{dv_b}{db} = - \frac{\frac{d^2 z(u)}{du^2} + \lambda \frac{\partial^2 y(u, v)}{\partial u^2}}{\left(\frac{d^2 z(u)}{du^2} + \lambda \frac{\partial^2 y(u, v)}{\partial u^2} \right) \frac{\partial^2 y(u, v)}{\partial v^2} - \lambda \left[\frac{\partial^2 y(u, v)}{\partial u \partial v} \right]^2}.$$

Из (2.2.3) и (2.2.4) следует, что числитель и знаменатель этой дроби положительны. Утверждение 2.6 доказано.

Следствие 1. Если справедливо (2.1.9), то увеличение или уменьшение u_b в зависимости от b определяется знаком разности $\omega(u_b) - \theta(v_b)$. То есть, если $\omega(u_b) - \theta(v_b) > 0$, то объем выпуска с уменьшением b падает. А если $\omega(u_b) - \theta(v_b) < 0$, то объем выпуска с уменьшением b растет.

Производная функции u_b записывается как $\frac{du_b}{db} = \frac{\tilde{F}'_v \bar{\Phi}'_b - \tilde{F}'_b \bar{\Phi}'_v}{\tilde{F}'_u \bar{\Phi}'_v - \tilde{F}'_v \bar{\Phi}'_u}$.

Учитывая (2.2.8), это выражение можно переписать в виде

$$\frac{du_b}{db} = \frac{\lambda \frac{\partial^2 y(u, v)}{\partial u \partial v}}{\left(\frac{d^2 z(u)}{du^2} + \lambda \frac{\partial^2 y(u, v)}{\partial u^2} \right) \frac{\partial^2 x(u, v)}{\partial v^2} - \lambda \left[\frac{\partial^2 y(u, v)}{\partial u \partial v} \right]^2}.$$

Знаменатель этой дроби положителен, а числитель, учитывая (2.2.10), можно переписать в виде $\lambda \frac{\partial^2 y(u, v)}{\partial u \partial v} = \lambda \omega'(u) \theta'(v) \frac{\omega(u) - \theta(v)}{[\omega(u) + \theta(v)]^3}$.

Таким образом, знак производной $\frac{du_b}{db}$ определяется разностью $\omega(u_b) - \theta(v_b)$.

Следствие 2. Если справедливо (2.1.9), то возможна ситуация, когда с увеличением процента компенсации затрат уровень риска на предприятии увеличивается.

Другими словами, возможна ситуация, когда

$$\frac{dx(u_b, v_b)}{db} < 0. \quad (3)$$

Производную функции $y(u_b, v_b)$ можно записать как

$$\frac{dy(u_b, v_b)}{db} = \frac{\omega' \theta \frac{du_b}{db} - \omega \theta' \frac{dv_b}{db}}{(\omega + \theta)^2}.$$

Подставив сюда выражения для $\frac{du_b}{db}$ и $\frac{dv_b}{db}$, получим

$$\frac{dy(u_b, v_b)}{db} = \frac{\theta'}{(\omega + \theta)^2} \frac{\lambda \theta \frac{\omega \omega'' - [\omega']^2}{[\omega + \theta]^2} + \omega \frac{d^2 z(u)}{du^2}}{\left(\frac{d^2 z(u)}{du^2} + \lambda \frac{\partial^2 y(u, v)}{\partial u^2} \right) \frac{\partial^2 y(u, v)}{\partial v^2} - \lambda \left[\frac{\partial^2 y(u, v)}{\partial u \partial v} \right]^2}.$$

Выше было показано, что знаменатель этой дроби положителен и имеет место (2.2.12). Поэтому можно утверждать, что возможна

ситуация, когда (3) выполняется. Пусть справедливы зависимости (2.1.19) и (2.1.20). Тогда систему уравнений (2) можно переписать в

$$\text{виде } \begin{cases} c - \frac{r}{q}u - \lambda w \frac{2u(wu^2 + \theta_0 v + T) - 2wu^3}{(wu^2 + \theta_0 v + T)^2} = 0, \\ \lambda w u^2 \frac{\theta_0}{(wu^2 + \theta_0 v + T)^2} - b = 0. \end{cases} \quad \text{Решение этой системы за-}$$

$$\text{писывается в виде } u_b = q \frac{2\sqrt{\lambda b w \theta_0} - c \theta_0}{2b w q - \theta_0 r}, \quad v_b = \frac{1}{2b} u_b \left(c - \frac{r}{q} u_b \right) - \frac{T}{\theta_0}.$$

Если $b \rightarrow 0$, что соответствует случаю, когда центр компенсирует все расходы предприятия, то при этом получаем $u_b \xrightarrow{b \rightarrow 0} \frac{cq}{r}$, и, соответственно, $v_b \xrightarrow{b \rightarrow 0} \infty$.

Таким образом, при любой цене $\lambda > 0$, если центр компенсирует все расходы предприятия на снижение риска, то эти расходы будут возрастать, а объем выпуска продукции будет стремиться к величине, соответствующей объему выпуска при отсутствии контроля за уровнем риска. Чтобы узнать, как изменяется объем выпуска продукции на предприятии при изменении процента компенсации, определим знак производной $\frac{\partial u_b}{\partial b} = q \sqrt{\frac{w \theta_0}{b}} \frac{2qc \sqrt{w \theta_0 b} - \sqrt{\lambda \theta_0 r} - 2wqb \sqrt{\lambda}}{(2bwq - \theta_0 r)^2}$.

Отсюда следует, что $\frac{du_b}{db} > 0$, когда

$$\theta_0 \frac{c^2 q - r \lambda - c \sqrt{q^2 c^2 - 2qr \lambda}}{2qw \lambda} < b < \theta_0 \frac{c^2 q - r \lambda + c \sqrt{q^2 c^2 - 2qr \lambda}}{2qw \lambda}.$$

Легко показать, что при любом $\lambda < \frac{qc^2}{2r}$ справедливо

$$c^2 q - r \lambda - c \sqrt{q^2 c^2 - 2qr \lambda} > 0.$$

А это значит, что для b , удовлетворяющих неравенству

$$0 < b < \theta_0 \frac{c^2 q - r \lambda - c \sqrt{q^2 c^2 - 2qr \lambda}}{2qw \lambda},$$

$\frac{du_b}{db} < 0$, и соответственно объем выпуска падает с ростом процента компенсации затрат. А при

$$b > \theta_0 \frac{c^2 q - r \lambda - c \sqrt{q^2 c^2 - 2qr \lambda}}{2qw \lambda} \quad (4)$$

$\frac{du_b}{db} > 0$, и объем выпуска увеличивается с ростом процента компенсации затрат. Для того чтобы выполнялось неравенство (4), должно выполняться условие $\theta_0 \frac{c^2 q - r\lambda - c\sqrt{q^2 c^2 - 2qr\lambda}}{2qw\lambda} < 1$.

А это неравенство справедливо, когда

$$\lambda < \frac{4c^2 \theta_0 q^2 w}{(r\theta_0 + 2qw)^2}. \quad (5)$$

Таким образом, если выполняется неравенство

$$\lambda > \frac{4c^2 \theta_0 q^2 w}{(r\theta_0 + 2qw)^2} \quad (6)$$

и справедливо (4), объем выпуска увеличивается с ростом процента компенсации затрат.

При рассматриваемых зависимостях уровень риска на предприятии может быть представлен в виде

$$y(u_b, v_b) = u_b \sqrt{\frac{bw}{\lambda \theta_0}}. \quad (7)$$

Выше отмечалось, что возможна ситуация, когда с увеличением процента компенсации затрат увеличивается и уровень риска на предприятии. Выражение (3) для (7) можно переписать в виде

$$\frac{dy(u_b, v_b)}{db} = q \sqrt{\frac{\theta_0 w}{\lambda}} \frac{2cwqb - 4r\sqrt{\lambda w \theta_0 b} + c\theta_0 r}{2\sqrt{b}(2bwq - \theta_0 r)^2} < 0.$$

Отсюда следует, что уровень риска возрастает с ростом процента компенсации когда

$$\theta_0 r \frac{4r\lambda - 2\sqrt{2r\lambda(2r\lambda - c^2 q)} - c^2 q}{2c^2 wq^2} < b < \theta_0 r \frac{4r\lambda + 2\sqrt{2r\lambda(2r\lambda - c^2 q)} - c^2 q}{2c^2 wq^2}.$$

Легко показать, что $0 < \theta_0 r \frac{4r\lambda - 2\sqrt{2r\lambda(2r\lambda - c^2 q)} - c^2 q}{2c^2 wq^2} < 1$.

При $\lambda > \frac{c^2(2wq + \theta_0 r)^2}{16\theta_0 r^2 w}$, и при этом всегда выполняется неравенство

$$\theta_0 r \frac{4r\lambda + 2\sqrt{2r\lambda(2r\lambda - c^2 q)} - c^2 q}{2c^2 wq^2} > 1.$$

Для значений параметров r, q, c, w, θ_0 и T , приведенных в разделе 2.2, графики изменения объема выпуска в зависимости от значения b при ценах (ставках платы за риск), удовлетворяющих неравенствам (5) и (6) представлены на рис. 4.27.

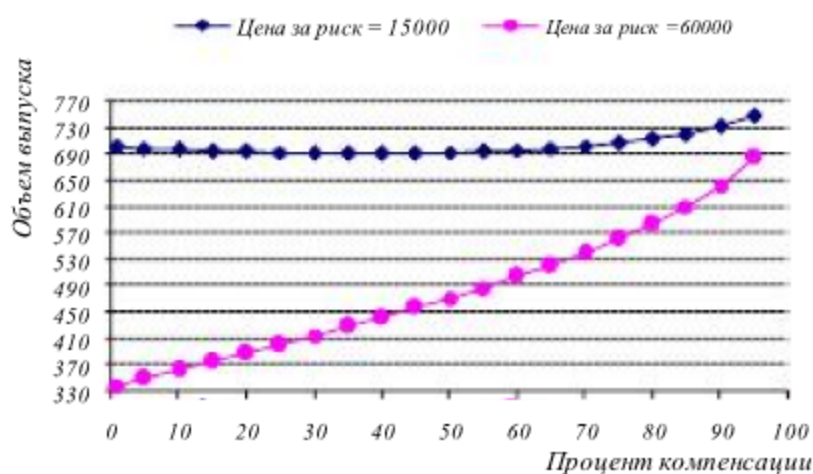


Рис. 4.27. Изменение объема выпуска
в зависимости от процента компенсации

Из выражения (4) и рис. 4.27 видно, что при $\lambda = 15000$ предприятие выпускает минимальный объем продукции когда центр компенсирует 37 % расходов предприятия на снижение уровня риска. Расходы предприятия на снижение уровня риска для этих значений цен изменяются так, как показано на рис. 4.28. Из приведенных графиков видно, что разница в затратах на снижение уровня риска при различных ценах за риск по мере увеличения процента компенсации затрат увеличивается. Обозначим через $v_{b\lambda_1}$ и $v_{b\lambda_2}$ затраты при различных ценах за риск. Тогда

$$\Delta v_b = v_{b\lambda_1} - v_{b\lambda_2} = \frac{u_{b\lambda_1} - u_{b\lambda_2}}{2b} \left[c - \frac{r}{q} (u_{b\lambda_1} + u_{b\lambda_2}) \right].$$

Подставив значения $u_{b\lambda_1}$ и $u_{b\lambda_2}$, получим $\Delta v_b = q\sqrt{w\theta_0} \frac{\sqrt{\lambda_1} - \sqrt{\lambda_2}}{\sqrt{b}(2bwq - \theta_0 r)} \frac{2cbwq + \theta_0 cr - 2r\sqrt{bw\theta_0}(\sqrt{\lambda_1} + \sqrt{\lambda_2})}{2cbwq - \theta_0 cr}$.

Откуда следует, что затраты на снижение уровня риска могут быть одинаковыми и при различных значениях λ – см.рис. 4.29.

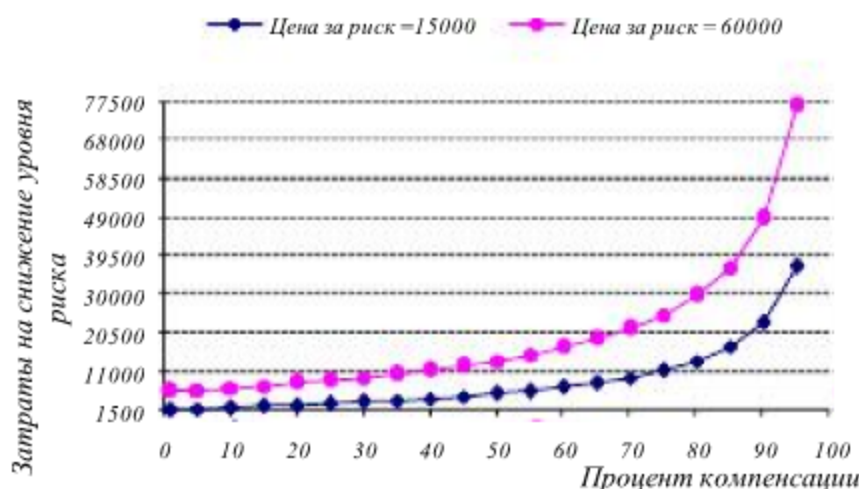


Рис. 4.28. Изменение затрат на снижение уровня
в зависимости от процента компенсации

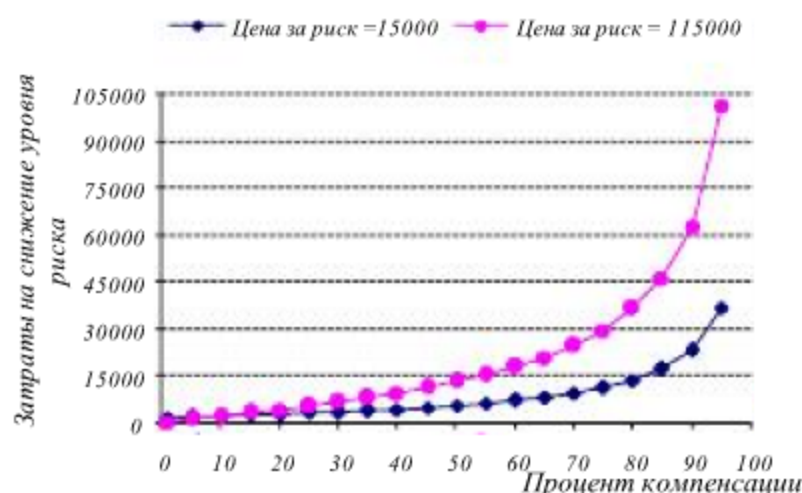


Рис.4.29. Изменение затрат на снижение уровня риска для разных цен в зависимости от процента компенсации

На рис. 4.30 представлены графики изменения уровня риска в зависимости от b .

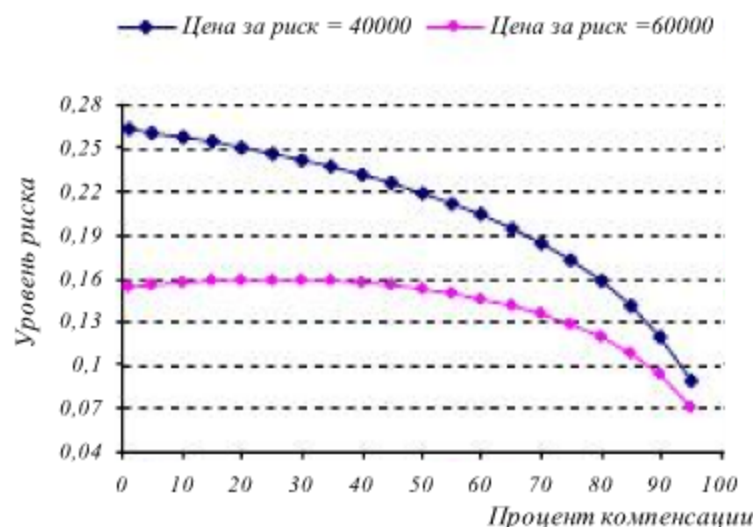


Рис. 4.30. Изменение уровня риска для разных цен в зависимости от процента компенсации

Выше было показано, что возможна ситуация, когда с ростом процента компенсации затрат на снижение уровня риска происходит увеличение уровня риска на предприятии. Именно этот случай показан на рис. 4.30 для цены за риск $\lambda = 60000$. При увеличении процента компенсации до 25 происходит увеличение уровня риска, в то время как расходы предприятия на снижение уровня риска растут (как показано на рис. 4.28).

Рис. 4.29 и 4.30 показывают, что механизм компенсации может обеспечить достаточно низкий уровень риска, если в распоряжении центра имеется достаточное количество средств. Это связано с тем, что на снижение уровня риска главным образом используются средства центра.

Все выводы этого раздела были получены в предположении, что возможности центра безграничны, и он в состоянии осуществить компенсацию любых потраченных предприятием средств. Но если учесть, что средства центра ограничены некоторой величиной R_0 , то при действии механизма компенсации центр должен объявить, что он компенсирует $(1 - b)$ -ю часть средств, израсходованных предприятием, но не более чем R_0 .

Имея такую информацию, предприятие теперь должно сравнить $(1 - b) v_b$, где v_b – решение задачи (2), с величиной R_0 . Если окажется, что

$$(1 - b) v_b \leq R_0, \quad (8)$$

то объем выпуска продукции и размер средств, направляемых на снижение уровня риска, определяется из решения системы (2). Если же (8) не выполняется, то размер средств, направляемых предприятием на снижение уровня риска, определяется из условия $v'_b = \frac{R_0}{1 - b}$,

а объем выпуска продукции из решения задачи

$$f(u, v'_b) = cu - z(u) - \lambda x(u, v'_b) - bv'_b \rightarrow \max_{u \geq 0}.$$

На рис. 4.31 представлены графики изменения затрат на снижение уровня риска при цене за риск $\lambda = 60000$ и $\lambda = 20000$. Средства центра ограничены величиной $R_0 = 4000$. Отсюда видно, что при цене за риск $\lambda = 60000$ центр может осуществлять компенсировать 36,5% затрат предприятия, а при $\lambda = 20000$ – 51,5%.

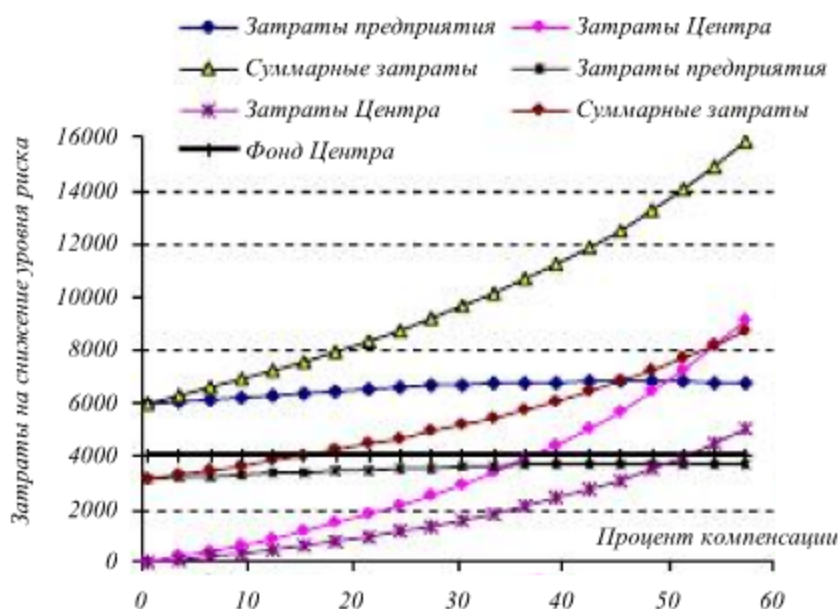


Рис. 4.31. Изменение затрат на снижение уровня риска в зависимости от процента компенсации

Более того, как следует из рис. 4.31, начиная с некоторого момента собственные расходы предприятия на снижение уровня риска падают.

2.5. МЕХАНИЗМЫ СТРАХОВАНИЯ

Страхованием называется «система мероприятий по созданию денежного (страхового) фонда за счет взносов его участников, из средств которого возмещается ущерб, причиненный стихийными бедствиями, несчастными случаями, а также выплачиваются иные денежные суммы в связи с наступлением определенных событий» [128, С. 1280].

Экологическое страхование. В зарубежной практике (см. обзор в [23]) под *экологическим страхованием* понимается «страхование гражданско-правовой ответственности владельцев потенциально опасных объектов ... в связи с необходимостью возмещения ущерба третьим лицам, обусловленного технологической аварией или катастрофой». В отечественной литературе используется более широкое определение [88]: «страхование ответственности предприятий-источников повышенной экологической опасности и имущественных интересов страхователей, возникающих в результате аварийного (внезапного, непреднамеренного) загрязнения окружающей природной среды, обеспечивающее возможность компенсации части причиняемых загрязнением окружающей среды убытков и создающее дополнительные источники финансирования природоохранных мероприятий». Целью экологического страхования является обеспечение страховой защиты материальных интересов физических и юридических лиц в виде полной или частичной компенсации убытков, причиняемых загрязнением окружающей среды, вызванным авариями, технологическими сбоями или стихийными бедствиями [11, 70].

На настоящее время в российской экономике виновники причиненных убытков и ущербов не несут практически никакой ответственности – в [88] отмечается, что ранее возмещение ущерба осуществлялось примерно на 10 % за счет государства, на 2-5 % – виновниками ущерба, а оставшаяся часть не покрывалась вовсе. С другой стороны, размер ущерба от отдельных техногенных катастроф зачастую бывает настолько велик, что его даже частичное возмещение не под силу виновнику. Поэтому существенную роль могут и

должны играть механизмы страхования¹⁶, перераспределяющие крупные риски и позволяющие в большей степени возмещать экологический и другие виды ущерба, причиняемые как природе, так и экономическим объектам и отдельным субъектам.

При этом необходимо принимать во внимание возможность вовлечения в природоохранную деятельность коммерческих структур. Единственным побуждающим их к подобной деятельности фактором может служить экономическая выгода. На этом этапе существенной становится роль государства, которое с помощью законодательных и экономических рычагов (см. описание механизмов смешанного страхования ниже) должно способствовать развитию механизмов природоохранной деятельности, в том числе – механизмов страхования.

Помимо роли государства, чрезвычайно важным, особенно в современных условиях, когда в ближайшей перспективе не ожидается введения единых институтов экологической ответственности¹⁷, является развитие и расширение использования механизмов управления безопасностью в широком смысле и механизмов экологического страхования как их существенной составляющей.

Значительную роль для успеха внедрения экологического страхования играет национальный менталитет. «В американской судебной системе возмещение ущерба определяется через анализ вины и непосредственной причины нанесения ущерба. Стандартом для определения вины является доктрина «благоразумно осторожного че-

¹⁶ Механизмы страхования снижают ожидаемое экономическое бремя по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций. Для успешной реализации программ страхования необходима не только соответствующая законодательная их поддержка, но и, в первую очередь, законодательная поддержка экономической и юридической ответственности за экологические риски. В том числе, принципиально важна персонификация причинителя вреда и реципиента.

¹⁷ Примерами таких возможных институтов могут являться налоги на природоохранную деятельности, совершенствование служб экологического мониторинга, создание правовой базы, обеспечивающей существенное изменение отношения хозяйствующих субъектов к природоохранной деятельности и т.д. Роль государства заключается также и в том, что экологическое страхование, осуществляемое в виде имущественного страхования, может рассматриваться как элемент обеспечения безопасности лишь при условии, что оно не поощряет экологическую безответственность страхователя (например, путем безусловной компенсации его убытков).

ловека»: в случае, когда действия конкретного человека выразились в нанесении кому-либо ущерба, но сам человек был в достаточной мере благоразумен и не нарушал закона, он не несет финансовую ответственность за нанесенный ущерб» [1, с. 61]. То есть, в сознании американцев страхование напрямую ассоциируется с качеством жизни и является синонимом ее безопасности. В то же время, в России соответствующая экономическая культура находится еще в стадии становления. С этой точки зрения актуальна соответствующая адаптация законодательной базы и развитие системы аварийного комиссарства.

Специфика экологического страхования заключается, в том числе, в том, что в нем величина страховой суммы складывается из двух составляющих¹⁸.

1. Затраты на предупреждение аварийного загрязнения. Для страхователя они представляют собой дополнительные и неоправданные (в случае отсутствия экологической аварии) расходы. Страхователь традиционно полагает, что доход от невнедрения природоохранных мероприятий больше, чем от внедрения. Для общества и третьих лиц, в чью пользу заключается договор страхования ответственности за аварийное загрязнение среды, эти затраты – составная часть потенциальных убытков. Осознавая это и оценивая возможное страховое возмещение, страховщик либо сам выделяет средства на предупреждение аварий, либо экономически стимулирует страхователя осуществить природоохранные мероприятия (см. примеры соответствующих механизмов выше). Они могут быть либо осуществлены, либо учтены в расчете страховой суммы (и, следовательно, страховой ставки).

2. Вторая составляющая страховой суммы – убытки, возникающие из-за воздействия на реципиентов поступивших в окружающую среду вредных веществ. В отличие от первого вида убытков, они непосредственно проявляются и у третьих лиц.

Классификация убытков может быть произведена следующим образом. Убытки, возмещаемые по страхованию ответственности на случай загрязнения окружающей среды, зарубежными страховщиками, как правило, подразделяются на две группы: прямые

¹⁸ Другими словами, в экологическом страховании брутто-ставка определяется суммой нетто-ставки, коммерческой и рискованной надбавок (нагрузок), а также нагрузки, отражающей затраты на проведение предупредительных мероприятий.

убытки (телесные повреждения, болезни, психические расстройства, ущерб, причиняемый сельскохозяйственным и водным культурам, лесам и недвижимой собственности) и косвенные убытки (увеличение расходов и потеря доходов, вызванные простоем производства, ущерб от загрязнения мест обитания рыбы, территорий, предназначенных для отдыха и развлечений и т.д.). Косвенные убытки включают также расходы на очистку и удаление отходов, затраты, связанные с несчастными случаями, вызванными загрязнением окружающей среды, и т.д.

В качестве основных *функций экологического страхования* можно выделить, во-первых, компенсацию убытков, возникающих в результате загрязнения окружающей среды (в том числе и при невозможности полного подавления выбросов/сбросов вредных веществ). Страховое возмещение в экологическом страховании покрывает, прежде всего, претензии третьих лиц, уменьшая тем самым издержки страхователей, но в определенных условиях и при дифференцированных тарифных ставках возмещению подлежат и убытки самих страхователей, образующиеся в результате непреднамеренного аварийного загрязнения окружающей среды. Во-вторых, экологическое страхование способно дать гарантии пострадавшим в получении ими причитающегося по закону возмещения независимо от финансового положения причинителя вреда, что чрезвычайно важно в современных российских условиях, особенно с точки зрения формирования правовой культуры и развития экологического судопроизводства. В-третьих, экологическое страхование может осуществлять функции мониторинга и контроля за осуществлением предприятиями мер по обеспечению экологической безопасности на всех этапах прохождения договора страхования. Четвертой функцией экологического страхования является создание источников дополнительного финансирования мероприятий по обеспечению экологической безопасности (например, за счет отчисления части страховой премии на предупредительные мероприятия).

Механизмы смешанного страхования. В [28] был введен класс механизмов смешанного финансирования и кредитования, которые основываются на следующей идее. Если некоторая группа проектов является экономически невыгодной с точки зрения реализации их коммерческими фирмами, но осуществление этой группы проектов необходимо для общества (примерами таких проектов являются:

социальная защита, охрана окружающей среды и др.), интересы которого представляет государство или какой-либо другой социальный и/или экономический институт (далее в настоящем разделе для его обозначения будем использовать термин «центр»), обладающий соответствующими ресурсами, то возможно совместное (смешанное) финансирование проектов за счет средств фирм и бюджета центра.

Механизмом смешанного финансирования называется правило определения взносов каждого из «инвесторов» на основании имеющейся (и, зачастую, сообщаемой самими инвесторами) информации. Это правило должно быть гибким, так как при фиксации доли каждого из инвесторов может сложиться ситуация, в которой либо желающих вложить собственные средства будет слишком мало и/или эффективность использования средств центра будет низка. В [28] описан гибкий механизм смешанного финансирования, который обладает свойством привлечения инвестиций в приоритетные проекты.

Используем идею смешанного финансирования в экологическом страховании следующим образом – рассмотрим модель экологического страхования, в которой возможно привлечение ресурсов центра [25, 94]. Задача заключается в определении *механизма смешанного экологического страхования* (то есть принципа взаимодействия участников, использующего как ресурсы страхователей – предприятий, так и ресурсы страховщика – центра¹⁹), который обладал бы определенными свойствами, такими как, например, *неманипулируемость* (свойство, заключающееся в выгоды для участников системы сообщения достоверной информации), и приводил к эффективному (в смысле управления агрегированным риском) распределению собираемых страховых взносов и выплачиваемых возмещений.

¹⁹ Содержательной интерпретацией смешанного экологического страхования является взаимодействие администрации региона (центра), заинтересованной в минимизации потерь от ЧС и загрязнения окружающей среды предприятиями-источниками загрязнения (страхователями). Предприятия могут создать фонд взаимного страхования, а администрация региона может гарантировать определенное возмещение потерь (из своих фондов) страхователю при наступлении у него страхового случая (например, компенсировать ему часть затрат на природоохранные и природовосстановительные мероприятия, компенсацию ущерба третьим лицам и т.д.).

Пусть имеются n страхователей (предприятий) с целевыми функциями

$$E f_i = \tilde{g}_i - \kappa_i + p_i [V_i - W_i], i \in Q,$$

где \tilde{g}_i – прибыль от хозяйственной деятельности страхователя, κ_i – страховой взнос, V_i – страховое возмещение, p_i – вероятность наступления страхового случая, W_i – потери (ущерб) при наступлении страхового случая, $Q = \{1, 2, \dots, n\}$ – множество предприятий (страхователей). Для простоты ограничимся описанием взаимодействия страхователей в течение одного промежутка времени, на протяжении которого однократно производится сбор взносов и компенсация ущербов. При этом будем считать, что остатки резервов (разность между собранными взносами и произведенными выплатами) если они положительны, используются в качестве резерва в следующем периоде времени (учет альтернативных способов использования остатков, например, инвестиция их в те или иные проекты, может быть «автоматически» учтен в рамках описываемой ниже модели, поэтому акцентов на задачах управления инвестициями не делается).

Предположим, что вероятности $\{p_i\}$ наступления страховых случаев не известны центру и страхователи сообщают ему оценки $\{s_i\}$ этих вероятностей.

Пусть у центра (страховщика) имеется страховой фонд R_0 и возмещение i -го страхователя $V_i(s)$, где $s = (s_1, s_2, \dots, s_n)$ – вектор сообщений страхователей о соответствующих вероятностях наступления страховых случаев, определяется как часть $\alpha_0(s)$ его потерь W_i , которая может быть покрыта суммой страхового фонда центра и собранными взносами страхователей, то есть: $V_i(s) = \alpha_0(s) W_i, i \in Q$,

$$\alpha_0(s) = (W(s) + R_0) / W, \quad W(s) = \sum_{i \in Q} s_i W_i, \quad W = \sum_{i \in Q} p_i W_i.$$

Подставляя это выражение в целевую функцию страхователя и вычисляя производную по его сообщению, получаем, что

$$\frac{\partial E f_i}{\partial s_i} \approx \frac{p_i W_i}{W} - 1 \leq 0, i \in Q,$$

то есть такой механизм смешанного страхования оказывается манипулируемым. Содержательно, страхователи полностью используют фонд центра, сообщая, тем не менее, минимальные оценки вероятности наступления страхового случая.

Выходом может служить установление зависимости между долей фонда центра, получаемой страхователем (в том или ином виде), и сообщениями последнего. В идеале хотелось бы сделать эту долю монотонной по сообщениям страхователей, что, быть может, побуждало бы их к некоторому увеличению заявок в процессе конкуренции за ресурс центра. Однако легко убедиться, что, так как вероятности наступления страхового случая априори неизвестны, а механизм должен быть таков, чтобы при любых сообщениях страхователей имело место балансовое ограничение (сумма взносов страхователей и фонда центра должна равняться сумме ожидаемых возмещений), то, например, установить «надбавку», выплачиваемую страхователю из фонда центра, пропорциональной сообщенным им ожидаемым потерям, невозможно. Поэтому рассмотрим другой механизм, в котором центр из своего фонда компенсирует страхователям часть их страховых взносов, причем компенсируемая доля зависит от сообщений страхователей о вероятностях наступления страхового случая. Компенсируемая центром часть страхового взноса может интерпретироваться как установленная им скидка, поэтому соответствующий механизм был условно назван «механизмом скидок» [23].

Механизм скидок. Пусть центр из своего страхового фонда R_0 компенсирует i -му страхователю часть $V_i(s)$ его страхового взноса $s_i W_i$, то есть

$$\kappa_i(s) = s_i W_i - V_i(s), i \in Q, \quad (1)$$

где размер компенсации определяется на основании принципа прямых приоритетов, то есть

$$V_i(s) = \frac{s_i W_i}{W(s)} R_0, i \in Q. \quad (2)$$

Легко видеть, что, если²⁰ $V_i(s) = W(s) W_i / W, i \in Q$, то балансовые условия имеют вид:

$$\forall s \sum_{i \in Q} V_i(s) = R_0, \kappa(s) = W(s), \sum_{i \in Q} p_i V_i(s) = \kappa(s). \quad (3)$$

Ожидаемое значение целевой функции i -го страхователя имеет вид:

$$E f_i(s) = \tilde{g}_i - s_i W_i + \frac{s_i W_i}{W(s)} R_0 + p_i Q_i [W(s) / W - 1], i \in Q. \quad (4)$$

²⁰ Отметим, что данное выражение определяет зависимость страхового возмещения страхователя в том числе от ожидаемых суммарных потерь, которые «наблюдаемы» после наступления страховых случаев.

Найдем равновесие Нэша s^* игры страхователей. Для этого, обозначив

$$\beta'_i = 1 - \frac{p_i W_i}{W}, \quad (5)$$

определим из условий $\frac{\partial E f_i}{\partial s_i} = 0, i \in Q$, сообщения, доставляющие максимумы ожидаемым полезностям страхователей. Для этого рассмотрим систему уравнений:

$$R_0 \frac{W(s) - s_i W_i}{W^2(s)} = \beta'_i, i \in Q. \quad (6)$$

Складывая n уравнений, получим $W(s) = (n - 1) R_0 / \beta'$, где $\beta' = \sum_{i \in Q} \beta'_i$. Подставляя (5), имеем:

$$W(s) = R_0. \quad (7)$$

Подставляя (7) в (6), получаем:

$$s_i^* = p_i R_0 / W, i \in Q. \quad (8)$$

Итак, выражение (8) описывает равновесие Нэша. Более того, оно является допустимым равновесием, так как все равновесные сообщения страхователей неотрицательны и обеспечивают страхователям не меньшее значение ожидаемой полезности, чем при неучастии в смешанном страховании (последнее утверждение легко проверяется сравнением $s_i W_i - \frac{s_i W_i}{W(s)} R_0 - p_i W_i [W(s) / W - 1]$ и $p_i W_i$). Подставляя (8) в (1) и (2), получаем:

$$\kappa_i(s^*) = 0, i \in Q, \quad (9)$$

$$V_i(s^*) = \frac{p_i W_i}{W} R_0, i \in Q. \quad (10)$$

Утверждение 2.7. Механизм скидок обладает следующими свойствами:

- а) суммарный страховой взнос равен страховому фонду центра;
- б) компенсация осуществляется пропорционально истинным ожидаемым потерям страхователей;
- в) при страховом фонде центра, равном суммарным ожидаемым потерям страхователей, равновесие Нэша соответствует сообщению достоверной информации;
- г) для любого механизма скидок существует эквивалентный прямой (неманипулируемый) механизм.

Доказательство утверждения 2.7. Справедливость пункта а) следует из (7), б) – из (10), в) – из (8). Поэтому остановимся на доказательстве пункта г).

Напомним, что если задан некоторый не прямой механизм планирования, в котором равновесные сообщения агентов зависят от их типов, то механизм, в котором агенты сообщают свои типы, а центр определяет планы, подставляя сообщения в равновесие не прямого механизма, называется соответствующим исходному прямому механизму [98]. Соответствующий прямой механизм, который *неманипулируем* (то есть является механизмом, в котором сообщение достоверной информации является доминантной стратегией каждого агента), называется эквивалентным прямым механизмом.

В соответствии с приведенными определениями исходным является механизм (2), а соответствующий ему прямой механизм $\mathcal{K}(\sigma')$, где $\sigma' = (\sigma'_1, \sigma'_2, \dots, \sigma'_n)$ – вектор сообщений страхователей о вероятностях наступления страхового случая, определяется подстановкой (8) в (2), то есть:

$$s_i^*(\sigma') = \frac{\sigma'_i R_0}{\sum_{j \in Q} \sigma'_j W_j}, \quad i \in Q,$$

$$x_i^*(\sigma') = \frac{s_i^*(\sigma') W_i}{\sum_{j \in Q} s_j^*(\sigma') W_j} R_0 = \frac{\sigma'_i W_i}{\sum_{i \in Q} \sigma'_i W_i} R_0, \quad i \in Q,$$

причем $\forall \sigma' \quad W(s^*(\sigma')) = \sum_{i \in Q} s_i^*(\sigma') W_i = R_0$.

Подставляя последнее выражение в (4), получаем следующую зависимость ожидаемого выигрыша i -го страхователя от сообщений страхователей в прямом механизме:

$$\forall \sigma' \quad E f_i(\sigma) = \tilde{g}_i + p_i W_i [R_0 / W - 1], \quad i \in Q.$$

Отсюда следует, что ожидаемые выигрыши страхователей в соответствующем механизму (2) прямом механизме $V(\sigma')$ не зависят от их сообщений, следовательно, прямой механизм является неманипулируемым. Утверждение 2.7 доказано.

В заключение настоящего раздела остановимся на содержательной интерпретации свойств механизма скидок, устанавливаемых утверждением 2.7.

Так как суммарный страховой взнос в точности равен страховому фонду центра (в соответствии с (9) равновесные взносы страхо-

вателей равны нулю, то есть полностью компенсируются центром), то, конечно, нельзя сказать, что механизм скидок обладает свойством привлечения средств страхователей (фактически, центр безвозмездно страхует страхователей, рассчитывая в силу своей нейтральности к риску на ожидаемое страховое возмещение, равное своему страховому фонду). Тем не менее, механизм скидок обладает следующими привлекательными свойствами:

- он сбалансирован (см. условия (3) и (7));
- обеспечивает «справедливое» возмещение для страхователей – в силу (10) каждый страхователь получает компенсацию, пропорциональную своим истинным ожидаемым потерям, и, в силу этого, механизм скидок может рассматриваться как кандидат на эффективный механизм распределения ограниченных средств, выделенных на экологическое страхование;
- для него существует эквивалентный прямой механизм, в котором все страхователи сообщают центру достоверную информацию;
- в соответствии с (8), для любого размера страхового фонда центра, отношение равновесного сообщения страхователя к истинному значению вероятности наступления страхового случая одинаково для всех страхователей, что позволяет использовать механизмы косвенного оценивания этих параметров;
- так как ожидаемые взносы страхователей равны нулю, то центр имеет возможность распоряжаться ресурсом R_0 по своему усмотрению до конца рассматриваемого периода, и т.д.

2.6. МЕХАНИЗМЫ АУДИТА

Рассмотрим ЭкЭС, состоящую из одного центра (органа надзора) и одного предприятия [38]. Целевая функция центра

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

целевая функция предприятия (в которой его производственная деятельность не учитывается):

$$f(\sigma, y) = \sigma(y) - \varphi(y, r),$$

где y – выбираемый предприятием уровень безопасности (УБ); $y \geq 0$; $\varphi(y, r)$ – затраты предприятия на повышение и поддержание УБ – непрерывная неотрицательная неубывающая по y функция, равная нулю при нулевом уровне безопасности; $\sigma(y)$ – стимулирование предприятия за высокий УБ; $H(y)$ – «доход» центра – непрерывная функция, $H(y) \geq 0$, $H(0) = 0$; $r \geq 0$ – тип предприятия – пара-

метр, характеризующий используемые им технологии и эффективность его деятельности.

Порядок функционирования системы следующий: центр назначает систему стимулирования $\sigma(y)$, после чего предприятие выбирает УБ y , стремясь максимизировать свою целевую функцию.

Если центру достоверно не известен тип предприятия, то предприятие может предоставить центру недостоверную информацию $s \geq 0$ о своем типе, т.е. о затратах $\varphi(y, r)$ на природоохранные мероприятия. Пусть $\varphi'_r(y, r) \leq 0$, тогда предприятие будет сообщать центру оценку $s \leq r$. Содержательно это означает, что предприятие в сообщении центру будет занижать свой тип, завышая тем самым сообщаемые затраты на обеспечение УБ. Если центр использует принцип максимального гарантированного результата или просто верит сообщению предприятия, то, следуя принципу компенсации затрат (стимулирование должно в точности равняться сумме затрат предприятия и резервной полезности [98]), стимулирование предприятия со стороны центра при этом возрастает.

Будем считать, что центр назначает предприятию компенсаторную систему стимулирования [97], то есть вознаграждение компенсирует²¹ затраты предприятия на обеспечение УБ только при условии обеспечения нормативного значения УБ x :

$$\sigma(x, y, s) = \begin{cases} \varphi(x, s), & y \geq x \\ 0, & y < x \end{cases} \quad (1)$$

При использовании системы стимулирования (1) сразу встает вопрос о неманипулируемости, то есть создании такой системы управления, при которой предприятию выгодно было бы сообщать центру свой действительный тип, то есть сообщать правду о затратах на обеспечение УБ.

Естественно, в интересах центра обнаружить искажение информации. Для достижения этой цели центр с вероятностью p_0 проводит *аудит* фиксированной стоимости \tilde{c} . Будем считать, что, если аудит проводится, то искажение предприятием информации $s \leq r$ о своем типе всегда обнаруживается, то есть в случае аудита центр наблюдает истинный тип предприятия. В этом случае на предприятие налагается линейный штраф $\chi(r, s) = \mu(r - s)$.

²¹ В соответствии с выражением (1) затраты агента компенсируются полностью. В случае частичной компенсации методы анализа механизмов аудита будут практически такими же.

Таким образом, ожидаемые значения целевых функций участников (центра и предприятия соответственно):

$$\begin{aligned}\Phi(\sigma, y) &= H(y) - \varphi(y, s) - p_0 \tilde{c} + p_0 \mu(r - s), \\ f(\sigma, y) &= \varphi(y, s) - \varphi(y, r) - p_0 \mu(r - s).\end{aligned}$$

Поясним вид целевой функции предприятия: поскольку предприятие занижает оценку s параметра r , завышая тем самым свои расходы (а центр компенсирует предприятию именно расходы) по отношению к фактическим расходам, то разность $\varphi(y, s) - \varphi(y, r)$ представляет собой не что иное, как сумму, на которую предприятие обманывает центр.

Еще раз оговорим порядок функционирования системы и информированность участников:

- общим знанием является: $H(\cdot)$, $\varphi(\cdot)$, $\chi(\cdot)$, p_0 и \tilde{c} ;
- центр определяет вероятность аудита p_0 и сообщает ее предприятию;
- предприятие сообщает центру оценку s своего типа r ;
- центр назначает предприятию план x и стимулирование (1);
- предприятие выбирает УБ y ;
- центр выплачивает предприятию вознаграждение в соответствии с (1);
- с вероятностью p_0 центр проводит аудит.

Следует также отметить, что в зависимости от поведения центра в отношении выбора вероятности аудита p_0 можно выделить три задачи. В рассматриваемом случае центр объявляет вероятность аудита. Также центр может не объявлять p_0 , выбирая стратегию максимального гарантированного результата по этому параметру. Третий вариант – центр может объявить предприятию не вероятность p_0 , а функцию $p_0(s)$ – зависимость вероятности проведения аудита от сообщения предприятия.

При использовании системы стимулирования (1) предприятию выгодно выполнять план: $y = x$. Для доказательства этого утверждения достаточно заметить, что, в точности выполняя план, предприятие получает полезность $\varphi(y, s) - \varphi(y, r) - p_0 \mu(r - s)$; отклоняясь же от плана, предприятие получает полезность: $-\varphi(y, r) - p_0 \mu(r - s)$, что заведомо ему невыгодно, так как $\forall y, \forall s: \varphi(y, s) \geq 0$.

Центр назначает предприятию оптимальный для себя план – норматив уровня безопасности $x^*(s)$, решая следующую задачу:

$$\min_{r \geq 0} \{H(x) - \varphi(x, s) - \tilde{c} p_0 + p_0 \mu(r - s)\} \rightarrow \max_{x \geq 0}. \quad (2)$$

Предприятие выбирает оптимальное для себя сообщение $s^*(p_0, r)$ центру о своем типе, решая следующую задачу:

$$\varphi(x^*(s), s) - \varphi(x^*(s), r) - p_0 \mu (r - s) \rightarrow \max_{s \geq 0}. \quad (3)$$

Далее, центр оптимизирует свою целевую функцию по вероятности проведения аудита p_0 , решая следующую задачу:

$$\tilde{c} p_0 + p_0 \mu (r - s^*(p_0, r)) \rightarrow \max_{p_0 \in [0;1]}. \quad (4)$$

Пусть $H(y) = y$, $\varphi(y, r) = y^2 / 2 r$.

Утверждение 2.8. Для того чтобы предприятие сообщало центру достоверную информацию, достаточно выполнения неравенства:

$$(5) \mu p_0 \geq 1 / 2.$$

Доказательство. Из (2) находим назначаемый предприятию план: $x^*(s) = s$, из (3) находим оптимальное сообщение предприятия: $s^*(p_0, r) = (1 / 2 + \mu p_0) r$. Поскольку, как предполагалось выше, предприятие предоставляет центру в общем случае искаженную информацию $s \leq r$ о своем типе, то оптимальное сообщение предприятия в данном случае: $s^*(p_0, r) = \min [(1 / 2 + \mu p_0) r; r]$. Утверждение 2.8 доказано.

Содержательно утверждение 2.8 означает, что, выбирая систему штрафов и вероятность проведения аудита (и сообщая эту информацию предприятию), удовлетворяющую (5), центр может добиться неманипулируемости, т.е. сообщения предприятием достоверной информации о своих затратах на обеспечение и поддержание УБ. Кроме того, следует заметить, что при выполнении условия (5) предприятие будет сообщать достоверную информацию о своем типе. Поэтому далее будем рассматривать условия, при которых (5) не выполняется, то есть, будем считать, что $p_0 < \mu / 2$.

Из (4) находим оптимальную вероятность проведения проверки, решая следующую оптимизационную задачу:

$$\min_{r \geq 0} [r(1/4 + \mu p_0 - \mu^2 p_0^2) - \tilde{c} p_0] \rightarrow \max_{p_0 \in [0,1]}$$

Пусть множество возможных типов предприятия составляет отрезок $[r^-, r^+]$, то есть центру известны минимально и максимально возможные типы предприятия. Тогда оптимизационную задачу можно представить в виде следующей системы:

$$\begin{cases} [r^+(1/4 + \mu p_0 - \mu^2 p_0^2) - \tilde{c} p_0] \rightarrow \max_{p_0 \in [0,1]}, (1/4 + \mu p_0 - \mu^2 p_0^2) \leq 0, \\ [r^-(1/4 + \mu p_0 - \mu^2 p_0^2) - \tilde{c} p_0] \rightarrow \max_{p_0 \in [0,1]}, (1/4 + \mu p_0 - \mu^2 p_0^2) \geq 0. \end{cases} \quad (6)$$

Однако в силу утверждения 2.8 рассматривается случай $p_0 < \mu / 2$, и множеством решений первого неравенства системы (6) является пустое множество, поэтому далее будем рассматривать только оптимизационную задачу и второе неравенство системы (6).

Утверждение 2.9. Оптимальная для центра вероятность проведения аудита

$$p_0^* = (\mu r^- - \tilde{c}) / 2\mu^2 r^-, p_0 \in [0; \mu / 2]. \quad (7)$$

Справедливость утверждения обосновывается следующим образом: решая неравенство системы (6) относительно p_0 , получаем:

$$[r^-(1/4 + \mu p_0 - \mu^2 p_0^2) - \tilde{c}p_0] \rightarrow \max_{p_0 \in [0;1]}, p_0 \in [0; \mu / 2]. \quad (8)$$

Решая (8), получаем выражение (7) для оптимальной вероятности проведения аудита.

Итак, в рассматриваемой модели центр может выбрать вероятность p_0 проведения проверки и коэффициент штрафа μ таким образом, что предприятию будет выгодно сообщать свой истинный тип. Если же по каким-либо причинам центр не имеет возможности объявить такие параметры (например, μ превышает нормативно установленный коэффициент штрафов), то центр выбирает вероятность проведения проверки, максимизируя свою целевую функцию так, как показано в утверждении 2.9. В этом случае доход центра может оказаться больше, чем при честном поведении предприятия. То есть, данная модель показывает, что с помощью таких инструментов как штрафы, линейно зависящие от размера «обмана», и объявление вероятности проверок, в ЭкЭС можно создать такие условия, что честное поведение будет выгодно всем участникам.

2.7. МЕХАНИЗМЫ СНИЖЕНИЯ ОЖИДАЕМОГО УЩЕРБА

Величина ущерба окружающей среде, как правило, является недетерминированной величиной, поэтому в настоящем разделе рассматриваются механизмы стимулирования снижения уровня ожидаемого ущерба. В качестве вероятностного распределения, описывающего размер ущерба, выбрано распределение Парето. Действия, выбираемые предприятием (например, объем производства, затраты на природоохранные мероприятия и т.д.) определяют параметры этого распределения.

Закон Парето и распределение Парето. Известен так называемый закон Парето (иногда его называют «закон 80 / 20», на жаргоне

– «пивной закон», в соответствии с которым 20 % людей выпивают 80 % пива), отражающий неравномерность распределения характеристик экономических и социальных явлений и процессов, свойства природных и техногенных катастроф, распределение ущерба от них и т.д. [64, 171, 183]:

- 20 % населения владеют 80 % капиталов (первоначальная формулировка самого В. Парето [176]);

- 80 % стоимости запасов на складе составляет 20 % номенклатуры этих запасов;

- 80 % прибыли от продаж приносят 20 % покупателей;

- 20 % усилий приносят 80 % результата;

- 80 % проблем обусловлены 20 % причин;

- за 20 % рабочего времени работники выполняют 80 % работы;

- 80 % работы выполняют 20 % работников и т.д.

«Формализацией» закона Парето является распределение Парето случайной величины W , $W \geq W_0 > 0$, характеризующееся двумя параметрами – минимально возможным значением W_0 и показателем степени $\alpha > 0$:

$$p(\alpha, W_0, W) = \frac{\alpha}{W_0} \left(\frac{W_0}{W} \right)^{1+\alpha}. \quad (1)$$

Плотности распределения (1) соответствует интегральная функция распределения

$$F_\alpha(\alpha, W_0, W) = 1 - \left(\frac{W_0}{W} \right)^\alpha. \quad (2)$$

Для распределения Парето существуют только моменты, порядка, меньшего, чем степень α . Например, математическое ожидание случайной величины W с распределением (1) существует при $\alpha > 1$ и равно

$$E W = \frac{\alpha}{\alpha - 1} W_0. \quad (3)$$

В рамках предположения о том, что случайная величина распределена по Парето, зная математическое ожидание $E W$ и минимальное значение W_0 , можно вычислить (см. (3)) параметр распределения α :

$$\alpha = \frac{E W}{E W - W_0}. \quad (4)$$

Описание модели. Будем считать, что предприятие выбирает свои действия – объем производства $u \geq 0$, и размер затрат на при-

родоохранные мероприятия $v \geq 0$; производство неизбежно приводит к ущербу $W_0 = W_0(u, v)$. Реализовавшаяся величина ущерба $W \geq W_0$ является случайной величиной, описываемой распределением (1). Центр осуществляет мониторинг деятельности предприятия и имеет возможность налагать на последнее штраф $\chi(W)$, зависящий от величины фактического ущерба.

Предположим, что на момент принятия решений участники (центр и предприятие) не знают размера фактического ущерба, а имеют лишь информацию о распределении вероятностей и используют вычисление ожидаемой полезности для устранения неопределенности. Таким образом, математическое ожидание целевой функции предприятия имеет вид:

$$f(u, v, \chi(\cdot)) = c u - z(u) - v - \int \chi(W) p(\alpha, W_0(u, v), W) dW \quad (5)$$

и зависит от выбираемой центром системы штрафов $\chi(\cdot)$ и действий u и v самого предприятия. Принципиально важно, что в рассматриваемой модели ни центр, ни предприятие на момент выбора своих стратегий не знают будущего значения величины ущерба.

Предприятие выберет действие из множества $P(\chi(\cdot))$ действий, доставляющих максимум математическому ожиданию его функции полезности, то есть:

$$P(\chi(\cdot)) = \text{Arg } \max_{u, v \geq 0} f(u, v, \chi(\cdot)). \quad (6)$$

Пусть выполнена гипотеза благожелательности (при прочих равных предприятие выбирает наиболее выгодные для центра действия [50]). Тогда задача центра заключается в выборе системы штрафов $\chi(\cdot)$, максимизирующей математическое ожидание критерия центра $E_W \Phi(u, v, W)$ (его функции полезности, выигрыша и т.д.) на множестве (6):

$$\max_{(u, v) \in P(\chi(\cdot))} E_W \Phi(u, v, W) \rightarrow \max_{\chi(\cdot)}. \quad (7)$$

Общего (для произвольных вероятностных распределений) аналитического решения задачи (7) на сегодняшний день не известно (см. достаточные условия оптимальности различных систем стимулирования в [97]), за исключением нескольких частных случаев, в числе которых – рассматриваемый ниже случай распределения Парето [35]. Фиксируем детерминированный уровень ущерба $w_0 \geq 0$. Вычислим действия предприятия, максимизирующие его выигрыш при условии непревышения этого уровня и соответствующий выигрыш:

$$S(w_0) = \text{Arg} \max_{\{u \geq 0, v \geq 0 | W_0(u, v) = w_0\}} [c u - z(u) - v], \quad (8)$$

$$f_0(w_0) = \max_{\{u \geq 0, v \geq 0 | W_0(u, v) = w_0\}} [c u - z(u) - v]. \quad (9)$$

Задача принятия решений предприятием фактически свелась к выбору того уровня ущерба w_0 , на который оно будет ориентироваться:

$$P_0(\chi(\cdot)) = \text{Arg} \max_{w_0 \geq 0} [f_0(w_0) - \int_{w_0}^{+\infty} \chi(W) p(\alpha, w_0, W) dW]. \quad (10)$$

Задача выбора оптимальной по тому или иному критерию системы штрафов при условии, что поведение предприятия описывается (10), является хрестоматийной детерминированной задачей стимулирования, для которой в теории управления организационными системами накоплен большой опыт исследования [97, 98, 162, 164]. Рассмотрим типовые классы систем штрафов.

Линейная система штрафов. Предположим, что центр использует линейную функцию штрафов вида

$$\chi_L(W) = \chi_0 + \mu W. \quad (11)$$

Тогда гарантированный ущерб w_0 и действия, выбираемые предприятием и приводящие к нему (см. (8)), будут зависеть от двух параметров системы штрафов – χ_0 и μ :

$$P_L(\chi_0, \mu) = \text{Arg} \max_{w_0 \geq 0} [f_0(w_0) - \chi_0 - \frac{\alpha \mu}{\alpha - 1} w_0]. \quad (12)$$

Задачу (7) можно записать в виде:

$$\max_{w_0 \in P_L(\chi_0, \mu)} \max_{(u, v) \in S(w_0)} E_W \Phi(u, v, W) \rightarrow \max_{\chi_0, \mu \geq 0}. \quad (13)$$

Рассмотрим пример. Пусть $W_0(u, v) = b_0 u / v$, $z(u) = u^2 / 2r$. Тогда решение задачи (8)-(9) имеет вид:

$$S = \{r(c - b_0 / w_0), r b_0 (c - b_0 / w_0) / w_0\},$$

$$f_0(w_0) = \frac{rc^2}{2} + \frac{b_0 r}{w_0} \left(\frac{b_0}{2w_0} - c \right). \quad (14)$$

Если $\Phi(u, v, W) = -W$, то

$$E_W \Phi(u, v, W) = -\frac{\alpha}{\alpha - 1} w_0, \quad w_0 \geq b_0 / c, \quad (15)$$

то есть центр заинтересован в минимизации гарантированного ущерба (последнее неравенство в (15) обеспечивает неотрицательность объемов производства, при которых достигается максимум выражения (14)).

Пусть $\alpha = 2$, $c = 1$, $b_0 = 4$, $r = 6$. Подставляя (14) в (12), можно найти комбинацию параметров (χ_0, μ) функции штрафа, при которых предприятию, максимизирующему целевую функцию

$$3 + \frac{24}{w_0} \left(\frac{2}{w_0} - 1 \right) - \chi_0 - 2 \mu w_0$$

выбором $w_0 \geq 4$, выгодно выбирать минимальный уровень гарантированного ущерба $w_0 = 4$. Вычислим выигрыш предприятия при выборе $w_0 = 4$ (отметим, что это достаточно экзотический случай – предприятие всю выручку от производства тратит на природоохранные мероприятия). Этот выигрыш равен $(-\chi_0 - 8 \mu)$. Потребуем, чтобы ожидаемый выигрыш предприятия был неотрицателен. Для этого достаточно взять $\chi_0 = -8 \mu$. Тогда легко найти минимальное значение μ , равное примерно 0,12, при котором максимум выигрыша предприятия будет достигаться при выборе минимального уровня гарантированного ущерба. Размер штрафа за уровень ущерба $w_0 = 4$ равен примерно -0,48 (отметим, что штраф отрицателен, то есть центр стимулирует предприятие за стремление минимизировать ожидаемый ущерб).

Компенсаторная система штрафов. Задача синтеза оптимальной компенсаторной системы штрафов заключается в нахождении такой системы штрафов $\chi_K(W)$, математическое ожидание которой с точностью до константы равно выигрышу предприятия²² (9):

$$\int_{w_0}^{+\infty} \chi_K(W) p(\alpha, w_0, W) dW - f_0(w_0) = \text{Const.} \quad (16)$$

Если условие (16) выполнено для любых w_0 , то в силу (10) математическое ожидание выигрыша предприятия не зависит от размера гарантированного ущерба, на который он ориентируется. Поэтому, в силу гипотезы благожелательности, предприятие выберет действия, наиболее предпочтительные с точки зрения центра.

В рамках рассматриваемого примера из (14) и (16) при $\alpha = 2$ получаем:

$$\int_{w_0}^{+\infty} \chi_K(W) d\left(\frac{1}{W^2}\right) = -\frac{rc^2}{2(w_0)^2} - \frac{b_0 r}{(w_0)^3} \left(\frac{b_0}{2w_0} - c\right). \quad (17)$$

Решение уравнения (17) имеет вид:

²² Задача существенно усложнится, если на функции штрафов наложены дополнительные ограничения.

$$\chi_K(W) = \frac{rc^2}{2} + \frac{(b_0)^2 r}{(w_0)^2} - \frac{3cb_0 r}{2w_0}. \quad (18)$$

Для выбранных выше числовых значений параметров получаем:

$$\chi_K(W) = 3 + \frac{96}{(w_0)^2} - \frac{36}{w_0}.$$

На рис. 4.32 изображена компенсаторная система штрафов (график выигрыша предприятия (14) приведен пунктирной линией). Видно, что за невысокие величины ущерба (от 4 до 8) центр вынужден доплачивать предприятию (штраф отрицателен, но так как он входит в целевую функцию предприятия со знаком минус, получается, что он в указанном диапазоне играет роль поощрения).

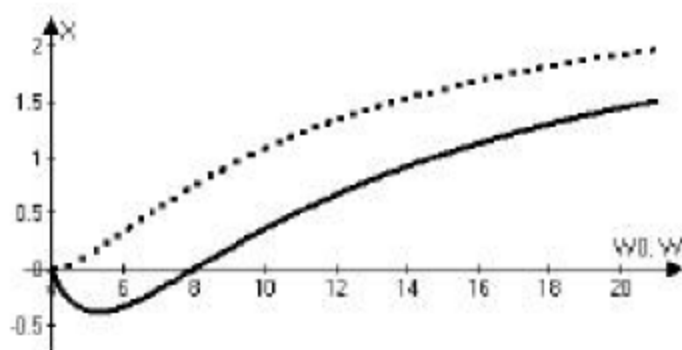


Рис. 4.32. Компенсаторная система штрафов

Если предприятие выберет минимальное значение гарантированного ущерба, равное 4, то математическое ожидание размера штрафа равно нулю.

Ступенчатая система штрафов. Известно (см. [26, 97]), что и в детерминированном случае, и, зачастую, в условиях вероятностной неопределенности, оптимальна ступенчатая система штрафов. Поэтому исследуем систему штрафов

$$\chi_C(W_x, W) = \begin{cases} \chi_0, & W \geq W_x, \\ 0, & W < W_x, \end{cases} \quad (19)$$

в которой предприятие штрафуются на сумму χ_0 в случае, если ущерб равен или превышает значение W_x (условно можно рассматривать этот показатель как предельно допустимый ущерб), и не штрафуются вовсе, если фактический ущерб меньше этой величины.

Вычислим математическое ожидание выражения (19):

$$E \chi_C(W_x, W) = \chi_0 \begin{cases} 1, & w_0 \geq W_x, \\ \left(\frac{w_0}{W_x}\right)^\alpha, & w_0 < W_x, \end{cases} \quad (20)$$

то есть предприятие безусловно штрафуются на максимальную величину, если ориентируется на минимальный ущерб, превышающий предельное установленное центром значение. В случае же, если оно ориентируется на минимальный ущерб, не превышающий установленный центром, то штраф оказывается меньше. Далее задача сводится к выбору двух параметров системы штрафов (20), приводящих к наиболее предпочтительному для центра выбору предприятия. В рамках рассматриваемого примера из (10), (14) и (20) получаем, что задача, решаемая предприятием, имеет вид:

$$\frac{rc^2}{2} + \frac{b_0 r}{w_0} \left(\frac{b_0}{2w_0} - c \right) - \chi_0 \begin{cases} 1, & w_0 \geq W_x \\ \left(\frac{w_0}{W_x} \right)^\alpha, & w_0 < W_x \end{cases} \rightarrow \max_{w_0 \geq b_0 / c}. \quad (21)$$

Найдем значения параметров функции штрафов (19), при которых предприятию выгодно выбирать минимальный уровень гарантированного ущерба $w_0 = 4$, и при этом (для сравнимости с рассмотренными выше системами штрафов) он будет получать нулевой ожидаемый выигрыш. Подставляя выбранные выше числовые значения, из последнего условия получаем: $16 \chi_0 / W_x = 0$, что невозможно. Значит, невозможно ступенчатыми системами штрафов побудить предприятие выбрать данное действие²³. Содержательно это объясняется тем, что штрафы (20) положительны («тяжелый хвост» распределения Парето приводит к тому, что, ориентируясь даже на минимальный ущерб, при достаточно большом предельно допустимом значении предприятие все равно будет оштрафовано на конечную величину), то есть центр не может поощрять предприятие за низкий уровень ожидаемого ущерба.

На рис. 4.33 изображен выигрыш предприятия при использовании центром ступенчатой системы штрафов: 1) график выигрыша предприятия (14) в отсутствии штрафов приведен пунктирной линией; 2) жирная непрерывная линия соответствует «слабым штрафам» – значениям $\chi_0 = 1$, $W_x = 8$; 3) тонкая штрихпунктирная линия соответствует ужесточению требований (по сравнению со вторым случаем), то есть снижению предельно допустимого ущерба: $\chi_0 = 1$,

²³ От этого недостатка ступенчатой системы штрафов можно легко избавиться, взяв в правой части выражения (19) вместо нуля отрицательную константу – см. выражение (22).

$W_x = 6$; 4) тонкая непрерывная линия соответствует ужесточению наказания: $\chi_0 = 2$, $W_x = 8$.

Видно, что при слабых штрафах (случай 1) предприятие будет ориентироваться на ожидаемый ущерб, примерно равный 7, то есть чуть меньше, чем в два раза больший минимально возможного. При ужесточении требований или ужесточении наказания (случаи 3 и 4 соответственно) предприятию выгодно выбирать минимальное значение ожидаемого ущерба, равное 4. Однако в последних двух случаях его выигрыш отрицателен.



Рис. 4.33. Выигрыш предприятия при ступенчатой системе штрафов

Как отмечалось выше, для того, чтобы сделать выигрыш предприятия при выборе $w_0 = 4$ равным нулю, в рассматриваемом примере достаточно использовать систему штрафов

$$\chi_\varepsilon(W_x, W) = \begin{cases} \chi_0, & W \geq W_x, \\ -\varepsilon, & W < W_x, \end{cases} \quad (22)$$

математическое ожидание которой равно

$$E \chi_\varepsilon(W_x, W) = \begin{cases} \chi_0, & w_0 \geq W_x, \\ -\varepsilon + (\chi_0 + \varepsilon) \left(\frac{w_0}{W_x} \right)^\alpha, & w_0 < W_x. \end{cases} \quad (23)$$

Выберем $\varepsilon = \chi_0 / 3$, тогда выигрыш предприятия (как и ожидаемый штраф!) при выборе $w_0 = 4$ равен нулю при $W_x = 8$. Например²⁴, при $\chi_0 = 1$ (ср. со случаем «слабых штрафов» выше) предприятию

²⁴ Множество тех значений χ_0 , при которых агенту выгодно выбирать минимальный уровень ожидаемого ущерба, в рассматриваемом примере определяется условием отрицательности целевой функции агента при любых $w_0 \geq 4$.

выгодно выбирать минимально возможный уровень ожидаемого ущерба – см. жирную штрихпунктирную линию на рис. 4.33.

Сравнение различных систем штрафов. Выше были рассмотрены три системы штрафов – линейная, компенсаторная и ступенчатая. Общим их характеристическим свойством является наличие двух режимов – при малом уровне ожидаемого ущерба предприятие поощряется, при большом – наказывается. Это свойство редко наблюдается на практике, так как обычно функции поощрения (стимулирования, мотивации) и наказания (контроля, надзора, обеспечения выполнения нормативных требований) выполняют различные органы. Тем более привлекательным представляется совмещение в одном механизме управления обоих этих черт.

Рассмотренные системы штрафов имеют различную содержательную интерпретацию: в линейном механизме штрафов имеется ставка платы за ущерб, в компенсаторном от предприятия требуется «компенсация» нанесенного им ущерба, в ступенчатой системе штрафов предприятие наказывается за нарушение нормативов (последний случай наиболее близок к используемым на практике мерам административного воздействия на нарушителей экологических нормативов). С точки зрения предприятия, во всех трех случаях оно получает при минимальном уровне ожидаемого ущерба одинаковый выигрыш. С точки зрения центра, в первом случае он несет большие ожидаемые затраты – см. табл. 4.8, в которой представлена сводка результатов настоящего раздела (числовые данные соответствуют рассмотренному примеру).

Т а б л и ц а 4.8. Сравнение различных систем штрафов

Система штрафов	Выражение	Выбор предприятия (w_0)	Математическое ожидание выигрыша предприятия	Математическое ожидание затрат центра
Линейная	(11)	4	0	0,48
Компенсаторная	(16)	4	0	0
Ступенчатая	(22)	4	0	0

В заключение настоящего раздела отметим, что, используя приведенную технику анализа механизмов стимулирования снижения ожидаемого ущерба, можно решать задачи синтеза оптимальных систем штрафов более сложного вида, в том числе – при наличии ограничений и т.д. Кроме того, следует помнить, что рассматривал-

ся случай внешней неопределенности, то есть считалось, что внутренняя неопределенность отсутствует – центр полностью информирован о всех существенных параметрах. Учет внутренней неопределенности можно производить по аналогии с тем, как это делалось в [97, 175].

ГЛАВА 3. МОДЕЛИ И МЕХАНИЗМЫ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ НА РЕГИОНАЛЬНОМ УРОВНЕ

Изложение материала настоящей главы имеет следующую структуру. Для оценки эффективности механизмов управления экологической безопасностью (далее – безопасностью) вводится модель управления уровнем безопасности в регионе (раздел 3.1). Затем рассматриваются модели механизмов платы за риск (раздел 3.2), финансирования снижения уровня риска (раздел 3.3.), компенсации затрат на снижение уровня риска (раздел 3.4), продажи квот на уровень риска (раздел 3.5), страхования (раздел 3.6), экономической мотивации (раздел 3.7), согласования интересов органов управления (раздел 3.8).

3.1. МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ УРОВНЕМ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В РЕГИОНЕ

Рассматриваемая иерархия управления имеет три уровня. Верхний уровень – *территориальный орган управления*. Предприятие представлено в виде двух уровней – средний уровень, в котором объединены функции Совета директоров, Генерального директора и руководителя службы производственного контроля, и нижний уровень (руководитель структурного подразделения). Задачей верхнего уровня является определение требований к системе управления безопасностью на предприятиях и контроль выполнения этих требований.

Обозначим через u_i *уровень безопасности (УБ)* – уровень эффективности *системы управления безопасностью (СУБ)* на предприятии i . Уровень безопасности – это комплексный показатель, характеризующий действующую на предприятии СУБ. В качестве УБ можно принять вероятность безаварийной работы, либо ожидаемый ущерб от аварий на лучших (по критерию безопасности) предприятиях (отечественных или зарубежных), отнесенный к ожидаемому

ущербу на данном предприятии. В последнем случае УБ $y_i = 1$ (100 %) означает, что предприятие является лучшим в России (или в мире, в зависимости от базы сравнения) по УБ. Обозначим далее x_i – нормативный УБ для i -го предприятия (то есть требования к СУБ предприятия i со стороны контролирующего органа).

Отметим, что нормативные УБ для разных предприятий могут быть различными. Это зависит как от категории предприятия по степени опасности производства, так и от существующего уровня безопасности. Дело в том, что нереально требовать от предприятия, имеющего низший уровень эффективности СУБ, чтобы оно сразу (за рассматриваемый период времени, например, квартал) перешло к УБ, соответствующей лучшим мировым стандартам. Стратегия контролирующего органа должна состоять в установлении промежуточных УБ, которые предприятия реально могут обеспечить за рассматриваемый период времени. Постепенно повышая требования (увеличивая нормативный уровень), контролирующий орган сможет обеспечить переход предприятий на требуемый УБ.

Выбор стратегии повышения УБ в настоящей работе рассматривается как последовательность двух этапов. На первом этапе определяется стратегия повышения *регионального уровня безопасности* (РУБ). Под региональным УБ может пониматься сумма нормативных уровней безопасности (УБ) предприятий региона (или средний УБ, если суммарный уровень разделить на число предприятий). На втором этапе определяется нормативный УБ каждого предприятия в рассматриваемом периоде так, чтобы сумма нормативных уровней равнялась региональному уровню данного периода, определенному на первом этапе, а суммарные затраты предприятий на достижение регионального УБ были минимальными. Информация о затратах на достижение тех или иных значений УБ представляется предприятиями как составная часть отчетов о системе управления безопасностью (СУБ) на предприятии. Для того чтобы обеспечить достоверность отчетных данных, вводится *механизм инспекций* (контрольных проверок) состояния СУБ на предприятии, включающий систему санкций (штрафы, приостановка деятельности предприятия на определенное время) в случае, если отчетные данные не соответствуют фактическому положению дел. Таким образом, предлагаемый путь повышения УБ предприятий региона предполагает решение трех основных задач.

1. Задача определения стратегии повышения регионального УБ.

2. Задача определения нормативных УБ для предприятий региона.

3. Задача определения системы санкций, обеспечивающих представление достоверной информации о состоянии СУБ в отчетах предприятий.

Кроме того, необходимо обеспечить выполнение предприятиями (с учетом их интересов) требований по УБ, используя соответствующие механизмы (см. главу 2). Ниже рассматриваются модели и методы решения указанных задач.

Задача определения стратегии повышения регионального уровня безопасности. Примем за $X_{\text{кон}} = 1,0$ оценку регионального УБ, соответствующую конечной цели – создать СУБ, обеспечивающую УБ, который может позволить себе регион в существующих социально-экономических условиях (концепция достаточной безопасности, вытекающая из концепции устойчивого развития общества). Существующий УБ примем за $X_0 = 0$. Введем дискретную шкалу промежуточных УБ, например, $X_1 = 0,5$, $X_2 = 1,0$, каждому из которых соответствуют вполне определенные требования к СУБ предприятий. Пусть перед регионом стоит задача обеспечить выход на требуемый региональный УБ $X_T = 1,0$ за T периодов времени (месяцев, кварталов, лет, в зависимости от того, что понимается под периодом). Примем для определенности в качестве примера, что $T = 4$ кварталам (один год). Региональной стратегией обеспечения требуемого УБ назовем вектор $X = \{X_1, X_2, X_3, X_4\}$, где X_j определяет региональный УБ, который должен быть достигнут к концу j -го периода. Будем считать, что достигнутый УБ в дальнейшем не уменьшается, и поэтому $0 \leq X_1 \leq X_2 \leq X_3 \leq X_4 = 1$. Обозначим далее C'_{ij} – затраты на достижение и поддержание в периоде t уровня X_j , если в предыдущем периоде был достигнут уровень X_i (если $j = i$, то C'_{ij} – затраты на поддержание уровня i в периоде t). Величина C'_{ij} определяется на основе отчетов предприятий, экспертных оценок и опыта других регионов. При этом учитывается изменение стоимости денег со временем (производится дисконтирование). Задача заключается в определении стратегии X , обеспечивающей к концу периода $T = 4$ уровень безопасности $X_T = X_4 = 1$ с минимальными затратами. Для решения этой задачи построим граф возможных стратегий – см. Рис.. Начальная вершина соответствует началу первого периода. Первый слой отражает возможные вариан-

ты стратегии к концу первого периода (оставить прежний УБ $X_0 = 0$, увеличить УБ до $X_1 = 0,5$, либо увеличить до требуемого уровня $X_2 = 1,0$). Второй слой аналогично отражает возможные варианты стратегии к концу второго периода, третий – к концу третьего, и, наконец, четвертый слой содержит только одну конечную вершину со значением $X_4 = 1,0$, поскольку к концу четвертого периода необходимо обеспечить требуемый УБ, который был принят равным единице. Заметим теперь, что любому пути в графе, соединяющему начальную вершину с конечной, соответствует вполне определенная стратегия повышения УБ. Верно и обратное – любой стратегии, обеспечивающей к концу четвертого периода УБ, равный 1, соответствует вполне определенный путь в графе (или несколько путей), соединяющий начальную вершину с конечной. Так, например, стратегии $X = (0; 0,5; 0,5; 1)$ соответствует путь в графе, отмеченный на рис. 4.34 жирными линиями.

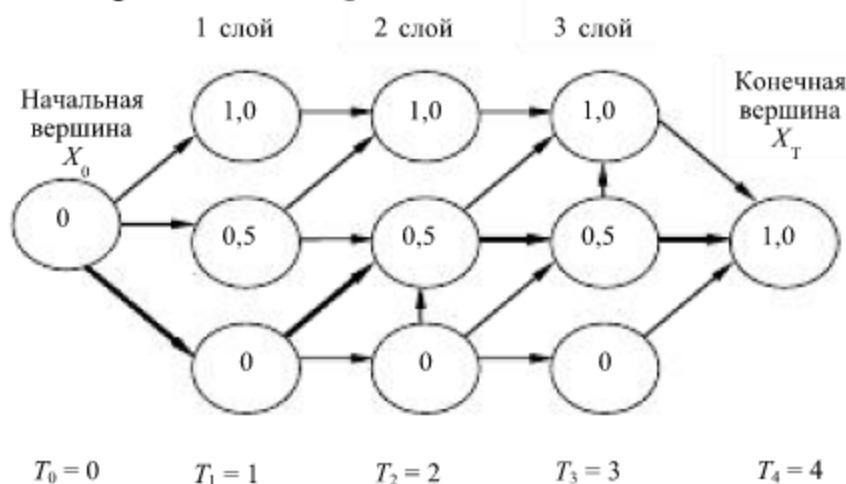


Рис. 4.34. Граф возможных стратегий повышения УБ

Для того чтобы выделять пути графа, будем обозначать j -ю вершину i -го слоя через (ij) . Тогда выделенный жирными линиями путь на рис. 4.34 будет обозначен как $[X_0; (1; 1); (2; 2); (3; 2); X_T]$, где X_0 – начальная вершина, X_T – конечная вершина. С помощью построенного графа возможных стратегий можно решать задачу выбора оптимальной стратегии по различным критериям. Так, если критерием являются затраты на создание и поддержание УБ в подразделениях предприятия, обеспечивающих требуемый уровень безопасности $X_T = 1,0$, то поступаем следующим образом. Примем в качестве длины дуги $[(t, i); (t + 1, j)]$ затраты C'_{ij} на создание и поддержание в периоде t СУБ, обеспечивающий УБ, равный X_j , при условии, что в начале периода t этот уровень был равен X_i . Тогда дли-

на любого пути, соединяющего начальную вершину с конечной, будет равна затратам на создание и поддержание УБ при стратегии, соответствующей этому пути. Таким образом, задача свелась к определению пути минимальной длины в графе возможных стратегий. На рис. 4.35 приведен пример решения задачи. Числа в круглых скобках у дуг равны длинам дуг. Числа в квадратных скобках у вершин равны длине кратчайшего пути из начальной вершины в данную вершину. Кратчайший путь из начальной вершины в конечную $[X_0; (1; 0); (2; 0); (3; 1); X_T]$ выделен жирными линиями. Соответствующая стратегия имеет следующий вид. Первые два квартала на предприятиях поддерживается существующий УБ. К концу третьего квартала УБ на предприятиях достигает величины $X_1 = 0,5$, а к концу четвертого – требуемой величины $X_2 = 1,0$. Суммарные затраты при этом составляют $C = 32$ ед.

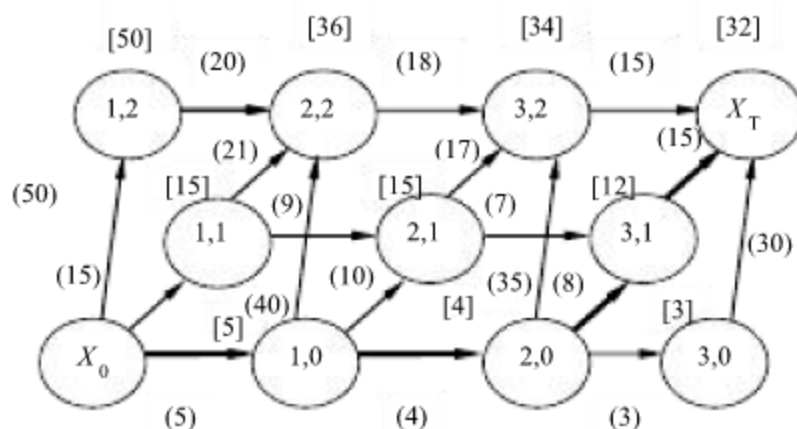


Рис. 4.35. Пример расчета возможных стратегий на основании графа

Отметим, что при решении задачи минимизации затрат на создание СУБ за $T = 4$ квартала, одновременно получено решение задачи для всех $t \leq T$. Действительно, как уже отмечалось выше, числа в квадратных скобках определяют минимальные затраты на создание СУБ соответствующего уровня к концу соответствующего периода. Поэтому числа, стоящие у вершин $(t, 2)$, где $t = 1, 2, 3, 4$, определяют минимальные затраты на создание требуемого УБ $X_2 = 1,0$ за t периодов. Из рис. 4.35 видно, что достижение УБ за три периода требует 34 ед., за 2 периода – 36 ед., за 1 период – 50 ед.

Критерий минимизации затрат не учитывает ожидаемого ущерба. Очевидно, что ожидаемый ущерб тем больше, чем ниже уровень безопасности. Обозначим через W'_{ij} – ожидаемый ущерб от аварий в

тратах на развитие СУБ и о прогнозируемом ущербе целесообразно корректировать стратегию, решая описанную выше задачу с уточненными данными.

Задача определения нормативных уровней безопасности для предприятий региона. Выше рассмотрена задача определения стратегии развития системы управления экологической безопасностью в регионе. В результате ее решения определяется региональный УБ, который должны обеспечить СУБ, создаваемые на предприятиях региона, в каждом из рассматриваемых периодов. Следующая задача заключается в том, чтобы на основе полученного значения регионального УБ определить задания на увеличение нормативных УБ для предприятий региона. Обозначим через ΔX планируемое увеличение регионального УБ по сравнению с предыдущим периодом, а через x_i – задание на увеличение нормативного уровня для i -го предприятия. Сумма приростов нормативных уровней предприятий должна быть равной увеличению регионального уровня, то есть

$$\sum_{i=1}^n x_i = \Delta X, \quad (1)$$

где n – число предприятий в регионе. Обозначим через $\varphi_i(x_i)$ затраты i -го предприятия на развитие СУБ для обеспечения требуемого прироста нормативного уровня. Поставим задачу определить приоритеты нормативных уровней таким образом, чтобы суммарные затраты на развитие СУБ были минимальными. Формально задача состоит в определении $x_i \geq 0, i = \overline{1, n}$, удовлетворяющих условию (1) и минимизирующих выражение

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

Эта задача является задачей математического программирования, методы решения которой хорошо разработаны.

Проблема, однако, заключается в том, что вид функций $\varphi_i(x_i)$ может быть неизвестен региональному органу, который должен решать эту задачу. Информацию о затратах на развитие СУБ можно получить только от самих предприятий. Предприятия же могут быть не заинтересованы в представлении достоверных сведений. Действительно, желая получить меньшее задание на прирост УБ, предприятия могут завысить затраты, которые требуются для развития СУБ. Возникает проблема обеспечения достоверности пред-

ставляемой предприятиями информации. Для ее решения необходимо создать определенные экономические стимулы для предприятий в развитии СУБ.

Примем, например, что предприятие поощряется за прирост УБ. Величина поощрения равна αx_i , где α – поощрение за единицу прироста. В качестве такого поощрения могут выступать налоговые льготы (освобождение от налогов на сумму αx_i при росте УБ на величину x_i , уменьшение штрафов за низкий уровень эффективности СУБ и т.д.). Итак, если введены стимулы за рост УБ, то экономические интересы предприятия можно записать в виде разности стимулов и затрат:

$$f_i(x_i) = \alpha x_i - \varphi_i(x_i), i = \overline{1, n}. \quad (3)$$

В теории активных систем доказано (см. [16, 20]), что для того, чтобы получить от предприятий достоверную информацию, территориальный орган должен применять так называемые *механизмы «честной игры»* при определении нормативных УБ. Суть этих механизмов в том, что территориальный орган назначает задание x_i на рост нормативного УБ, которое является самым выгодным для предприятия по разности стимулов и затрат, то есть которое обеспечивает максимум выражения (3). Регулирующим параметром при этом выступает величина α . Территориальный орган подбирает такое значение α , при котором сумма выгодных для предприятия приростов x_i будет равна требуемому увеличению регионального УБ, то есть, величине ΔX . Рассмотрим действие описанного механизма на примере простых квадратичных функций затрат вида $\varphi_i(x_i) = (x_i)^2/2r_i$, $i = \overline{1, n}$ (обобщения можно найти в [98]). В этом случае выражение (3) принимает вид

$$f_i(x_i) = \alpha x_i - (x_i)^2/2r_i, i = \overline{1, n}. \quad (4)$$

Эта функция достигает максимума в точке $x_i = \alpha r_i$. Если теперь определить параметр α из условия $\sum_{i=1}^n x_i = \alpha \sum_{i=1}^n r_i = \Delta X$, то есть взять

$$\alpha = \frac{\Delta X}{H}, \quad (5)$$

где $H = \sum_{i=1}^n r_i$, то прирост нормативных уровней предприятия на величины $x_i = \alpha r_i$ является с одной стороны самым выгодным для предприятия, а, с другой стороны, обеспечит прирост регионального УБ на величину ΔX .

Покажем, что описанный механизм заинтересовывает предприятия в представлении достоверных сведений о затратах, необходимых для развития СУБ до нормативного уровня. Заметим, что для представления территориальному органу функции затрат $(x_i)^2/2r_i$, предприятию i достаточно сообщить параметр r_i , характеризующий эффективность мер по развитию СУБ. Обозначим через s_i оценку параметра r_i , сообщаемую i -м предприятием (как правило, предприятия завышают затраты, то есть $s_i \leq r_i$). Прирост нормативного уровня для i -го предприятия при оценке s_i составит $x_i = \alpha s_i$. В этом случае выражение (4) принимает вид

$$f_i(x_i) = \alpha^2 \left(s_i - \frac{s_i^2}{2r_i} \right), i = \overline{1, n}. \quad (6)$$

Определим, какую оценку s_i следует сообщить предприятию i , для того, чтобы разность стимулов и затрат была максимальной. Для этого нужно найти максимум выражения (6) по s_i . Этот максимум достигается в точке $s_i = r_i$, то есть при сообщении предприятием достоверной информации. Важным положительным свойством описанного механизма является тот факт, что увеличение регионального УБ на величину ΔX достигается при минимальной величине (2) суммарных затрат предприятий на развитие СУБ [20].

Задача стимулирования достоверности информации, сообщаемой предприятиями о состоянии СУБ. Выше отмечалось, что информация о состоянии СУБ и о затратах, требуемых для ее развития, представляется эксплуатирующими организациями (предприятиями, компаниями) в территориальные и региональные органы в отчетах о состоянии и развитии СУБ. Очевидно, что необходима система контроля достоверности отчетных сведений о достигнутом уровне СУБ. В противном случае неизбежно будет происходить искажение отчетных данных. Такой контроль осуществляется на основе механизма *инспекционных проверок*. Если в результате проверки выясняется несоответствие отчетных данных фактическому положению дел, то к предприятию применяются экономические санкции в виде штрафов, либо приостановления деятельности и лишения лицензии, что также соответствует денежным потерям в виде упущенной выгоды. С другой стороны, если представленный отчет о состоянии СУБ показывает, что предприятие не достигло в данном периоде требуемого нормативного уровня СУБ, то его также ожидают экономические санкции (штрафы,

приостановление деятельности). Необходимо настроить систему штрафов таким образом, чтобы наказание за представление недостоверной информации о состоянии СУБ было больше, чем наказание за недостижение нормативного уровня.

Для того чтобы записать это условие в формальном виде, обозначим через y_i УБ i -го предприятия согласно представленному отчету, а через y_i – его фактический УБ, определенный в результате инспекционной проверки. Если $y_i > y_i$, то величину санкций примем прямо пропорциональной отклонению $(y_i - y_i)$, то есть штраф (или упущенная выгода) равна $b' (y_i - y_i)$, где b' – параметр, численно равный штрафу за единичное отклонение. Если $x_i > y_i$, то есть УБ согласно представленному отчету оказался ниже, чем нормативный уровень, установленный для данного периода, то величину санкций также примем прямо пропорциональной отклонению $(x_i - y_i)$, то есть равной $b'' (x_i - y_i)$, где b'' – параметр, определяющий штраф (упущенную выгоду) за единичное отклонение. Суммируя оба штрафа, получаем, что санкции за оба типа отклонений (отклонение y_i от y_i и y_i от x_i) будут равны следующей величине:

$$b' (y_i - y_i) + b'' (x_i - y_i) = b'' x_i - b' y_i + (b' - b'') y_i. \quad (7)$$

Поскольку территориальный орган заинтересован в достоверной информации, то есть в том, чтобы $y_i = y_i$, то следует обеспечить выполнение условия $b' > b''$.

В предыдущих рассуждениях предполагалось, что контролирующий орган в силах провести проверку состояния СУБ каждого предприятия в данном периоде. К сожалению, как правило, это невозможно, в силу ограниченной численности инспекторов. Поэтому проверки должны иметь выборочный характер. Если в одном периоде можно с равной вероятностью провести проверку m_0 предприятий, то вероятность проверки отдельного предприятия $p_0 = m_0 / n$. В этом случае ожидаемые санкции при отклонении ϵ_i от y_i составят $p_0 b' (y_i - y_i)$, и для достоверности отчетной информации необходимо выполнение условия $p_0 b' > b''$. Поскольку $p_0 \leq 1$, то параметр b' должен превышать параметр b'' в большей мере, чем в случае проверки всех предприятий. Чтобы исключить ситуации, когда в силу случайности выбора проверяемых предприятий предприятие может многие периоды не иметь инспекционных проверок,

можно вероятность проверки предприятий сделать возрастающей по числу периодов, прошедших после последней проверки.

Рассмотренные три механизма управления созданием и развитием СУБ в регионе, позволяют: определить стратегию повышения регионального УБ, которая минимизирует сумму затрат на создание и развитие системы; снизить величину ожидаемого ущерба; сформировать нормативные УБ для предприятий региона, минимизирующие суммарные затраты на обеспечение требуемого повышения регионального УБ; обеспечить достоверность отчетной информации о состоянии СУБ предприятий на основе механизма инспекционных проверок.

Описав общую модель управления уровнем безопасности в регионе, перейдем к рассмотрению ряда конкретных экономических механизмов управления. При их анализе будем считать, что на территории региона расположено n предприятий и деятельность каждого предприятия приводит к риску неблагоприятного воздействия на окружающую среду.

3.2. МЕХАНИЗМЫ ПЛАТЫ ЗА РИСК

Предположим, что для всех предприятий региона задано такое единое значение цены платы за риск λ^* , что при функционировании i -го предприятия и максимизации им своей прибыли

$$f_i = c_i u_i - z_i(u_i) - \lambda^* x_i(u_i, v_i) - v_i,$$

где $u_i \geq 0$ – объем производства, v_i – затраты на мероприятия по снижению уровня риска, формируется уровень риска, равный $x_i(\lambda^*)$. Соответственно, уровень безопасности можно определить, например, как $[1 - x_i(\lambda^*)]$, а уровень безопасности в регионе X , при функционировании всех предприятий, находящихся на его территории, и при условии, что риски предприятий не зависят друг от друга, определяется как $\prod_{i=1}^n [1 - x_i(\lambda^*)] = X$. При действии механизма платы за

риск i -е предприятие выплачивает сумму в размере $\lambda^* x_i(\lambda^*)$ за риск, связанный с его функционированием. Суммарная плата за риск всех предприятий региона при этом равна $\lambda^* \sum_{i=1}^n x_i(\lambda^*) = Q_0$.

В случае, когда цена за риск λ изменяется в диапазоне от некоторого минимального значения $\lambda_{\text{н}}$ до максимального значения $\lambda_{\text{в}}$, то справедливо следующее утверждение.

Утверждение 3.1. Если с ростом цены λ хотя бы на одном предприятии региона уменьшается плата за риск $\lambda x(\lambda)$, то для любой цены $\lambda^* \in [\lambda_{\text{н}}; \lambda_{\text{в}}]$, при которой уровень безопасности в регионе составляет величину X , а суммарная плата за риск всех предприятий региона равна Q_0 , всегда существует такой вектор цен $\{\lambda_i\}$, что уровень безопасности в регионе не уменьшается, а суммарная плата за риск падает.

Доказательство утверждения 3.1. Не ограничивая общности можно считать, что на первом предприятии региона с ростом цены уменьшается сумма платежа за риск, то есть

$$\frac{\partial \lambda x_1(\lambda)}{\partial \lambda} < 0. \quad (1)$$

Для доказательства справедливости утверждения 3.1 необходимо показать, что существует такой вектор цен $\{\lambda_i\}$, что $\prod_{i=1}^n [1 - x_i(\lambda_i)] = P_1$ и $\sum_{i=1}^n \lambda_i x_i(\lambda_i) = Q_1$, причем $P_1 \geq X$, а $Q_1 < Q_0$.

Пусть $\lambda_1 = \lambda^* + \Delta\lambda_1$, $\lambda_2 = \lambda^* + \Delta\lambda_2$, $\lambda_3 = \lambda^*$, $\lambda_4 = \lambda^*$, ..., $\lambda_n = \lambda^*$, тогда можно записать $P_1 = \prod_{i=1}^n [1 - x_i(\lambda_i)] = [1 - x_1(\lambda_1)] \times [1 - x_2(\lambda_2)] \times \prod_{i=3}^n [1 - x_i(\lambda^*)]$. Если

теперь доказать, что существуют $\Delta\lambda_1$ и $\Delta\lambda_2$, такие, что $[1 - x_1(\lambda^* + \Delta\lambda_1)] \times [1 - x_2(\lambda^* + \Delta\lambda_2)] \geq [1 - x_1(\lambda^*)] \times [1 - x_2(\lambda^*)]$,

то это будет соответствовать тому, что

$$[1 - x_1(\lambda_1)] \times [1 - x_2(\lambda_2)] \times \prod_{i=3}^n [1 - x_i(\lambda^*)] \geq \prod_{i=1}^n [1 - x_i(\lambda^*)]. \quad (2)$$

Так как $[1 - x_1(\lambda^*)]$ – возрастающая функция, то для любого $\Delta\lambda_1 > 0$ имеем $1 - x_1(\lambda) \leq 1 - x_1(\lambda + \Delta\lambda_1)$. Умножив это неравенство на $[1 - x_2(\lambda)]$, получим: $[1 - x_1(\lambda)] [1 - x_2(\lambda)] \leq [1 - x_1(\lambda + \Delta\lambda_1)] [1 - x_2(\lambda)]$. Отсюда следует: $1 - x_2(\lambda^*) \geq \frac{[1 - x_1(\lambda^*)] \times [1 - x_2(\lambda^*)]}{1 - x_1(\lambda^* + \Delta\lambda_1)}$. Так как $1 - x_2(\lambda^*)$ – непрерывная, возрастающая функция, то можно выбрать $\Delta\lambda'_2 > 0$ такое, что $1 - x_2(\lambda^* - \Delta\lambda'_2) \geq \frac{[1 - x_1(\lambda^*)] \times [1 - x_2(\lambda^*)]}{1 - x_1(\lambda^* + \Delta\lambda_1)}$. Отсюда полу-

чаем: $[1 - x_1(\lambda^* + \Delta\lambda_1)] \times [1 - x_2(\lambda^* - \Delta\lambda'_2)] \geq [1 - x_1(\lambda^*)] \times [1 - x_2(\lambda^*)]$, то есть нера-

венство (2) выполняется. Теперь надо доказать справедливость неравенства

$$\sum_{i=1}^n \lambda x_i(\lambda_i) < \lambda^* \sum_{i=1}^n x_i(\lambda^*). \quad (3)$$

Перепишем (3) в виде $\lambda_1 x_1(\lambda_1) + \lambda_2 x_2(\lambda_2) + \lambda^* \sum_{i=3}^n x_i(\lambda_i) < \lambda^* x_1(\lambda^*) + \lambda^* x_2(\lambda^*) + \lambda^* \sum_{i=3}^n x_i(\lambda^*)$.

Для доказательства (3) достаточно показать, что

$$\lambda_1 x_1(\lambda_1) + \lambda_2 x_2(\lambda_2) < \lambda^* x_1(\lambda^*) + \lambda^* x_2(\lambda^*).$$

Из условия (1) следует, что для $\Delta \lambda_1 > 0$ справедливо неравенство $\lambda^* x_1(\lambda^*) > (\lambda^* + \Delta \lambda_1) x_1(\lambda^* + \Delta \lambda_1)$. Обозначим через Δ разность

$$\Delta = \lambda^* x_1(\lambda^*) - (\lambda^* + \Delta \lambda_1) x_1(\lambda^* + \Delta \lambda_1). \quad (4)$$

Очевидно, что $\Delta > 0$. Так как $x_2(\lambda)$ – непрерывная функция, то $\lambda x_2(\lambda)$ также непрерывная функция. А для непрерывной функции всегда можно подобрать такое $\Delta \lambda_2'' > 0$, что справедливо

$$(\lambda^* - \Delta \lambda_2'') x_2(\lambda^* - \Delta \lambda_2'') - \lambda^* x_2(\lambda^*) < \Delta. \quad (5)$$

Подставляя в (5) значение ΔW из (4), получаем

$$\lambda^* x_1(\lambda^*) - (\lambda^* + \Delta \lambda_1) x_1(\lambda^* + \Delta \lambda_1) > (\lambda^* - \Delta \lambda_2'') x_2(\lambda^* - \Delta \lambda_2'') - \lambda^* x_2(\lambda^*)$$

Или $(\lambda^* + \Delta \lambda_1) x_1(\lambda^* + \Delta \lambda_1) + (\lambda^* - \Delta \lambda_2'') x_2(\lambda^* - \Delta \lambda_2'') < \lambda^* x_1(\lambda^*) + \lambda^* x_2(\lambda^*)$. То есть (3) для $\Delta \lambda_2'' > 0$ справедливо. Если выбрать значение $\Delta \lambda_2$ из условия $\Delta \lambda_2 = \min \{ \Delta \lambda_2', \Delta \lambda_2'' \}$, то одновременно будут выполняться неравенства (2) и (3). Утверждение 3.1 доказано. Аналогично доказывается соответствующее утверждение для ожидаемого ущерба:

Утверждение 3.2. Если с ростом цены λ хотя бы на одном предприятии региона уменьшается плата за риск $\lambda x(\lambda)$, то для любой цены $\lambda^* \in [\lambda_n, \lambda_v]$, при которой ожидаемый ущерб в регионе составляет величину $E W$, а суммарная плата за риск всех предприятий региона равна Q_0 , всегда существует такой вектор цен $\{\lambda_i\}$, что ожидаемый ущерб в регионе не увеличивается, а суммарная плата за риск падает.

В продолжение примеров главы 2, рассмотрим пример, когда в регионе расположены два предприятия. При этом $r_1 = 20$, $q_1 = 200$, $c_1 = 80$, $w_1 = 0,01$, $\theta_{01} = 0,8$ и $T_1 = 1500$, а $r_2 = 40$, $q_2 = 180$, $c_2 = 120$, $w_2 = 0,01$, $\theta_{02} = 1,2$ и $T_2 = 1000$. Пусть для этих предприятий установлена единая цена платы за риск $\lambda^* = 80000$. Показатели функционирования первого и второго предприятий представлены в табл. 4.10.

Т а б л и ц а 4.10.

Показатель	1-е предприятие	2-е предприятие	Регион
Объем выпуска	223,39	332,56	
Величина средств на снижение уровня риска	4565,49	6831,76	11397,25
Уровень риска	0,0883	0,1073	
Уровень безопасности	0,9117	0,8927	0,8138
Плата за риск	7064,30	8586,74	15651,04
Прибыль	1746,41	8600,38	10346,79

Пусть теперь для первого предприятия цена платы за риск установлена в размере $\lambda_1 = 80300$, а для второго предприятия цена платы за риск установлена в размере $\lambda_2 = 79450$. Тогда показатели функционирования этих предприятий принимают значения, представленные в табл. 4.11.

Т а б л и ц а 4.11.

Показатель	1-е предприятие	2-е предприятие	Регион
Объем выпуска	221,81	333,43	
Величина средств на снижение уровня риска	4537,47	6819,65	11357,12
Уровень риска	0,0875	0,1080	
Уровень безопасности	0,9125	0,8920	0,8139
Плата за риск	7027,48	8579,44	15606,92
Прибыль	1720,04	8659,59	10379,63

Из сравнения данных, содержащихся в представленных таблицах, следует, что при замене общей цены платы за риск $\lambda^* = 80000$ на дифференцированные цены $\lambda_1 = 80300$ и $\lambda_2 = 79450$, общая величина средств, выделяемых предприятиями на снижение уровня риска, уменьшилась. При этом вырос уровень безопасности региона, сократилась суммарная плата предприятий за риск, и одновременно с этим возросла суммарная прибыль предприятий.

3.3. МЕХАНИЗМЫ ФИНАНСИРОВАНИЯ СНИЖЕНИЯ УРОВНЯ РИСКА

Рассмотрим ситуацию, когда в регионе действует механизм сильных штрафов, функционируют n предприятий, и средства центра-

лизированного фонда R_0 распределяются между ними. Прибыль i -го предприятия определяется как

$$f_i = c_i u_i - z_i(u_i) - v_i - \begin{cases} \chi, & \text{если } y_i > x_i \\ 0, & \text{если } y_i \leq x_i \end{cases}, \quad (1)$$

где y_i – уровень риска на i -ом предприятии, x_i – предельно допустимый уровень риска для i -го предприятия.

Первоначально для всех предприятий устанавливается единый предельно допустимый уровень риска x . Для того чтобы получить средства из централизованного фонда, предприятия сообщают в центр планируемые объемы выпуска s_i и планируемые объемы собственных средств g_i , предназначенных для снижения уровня риска.

В силу того, что действует механизм сильных штрафов, на планируемые объемы выпуска и средства на снижение уровня риска накладываются ограничения (см. 2.1 и 2.2). $\frac{w_i s_i^2}{w_i s_i^2 + p_i g_i + T_i} \leq x$. Фактически это означает, что, определив значение g_i , предприятие может рассчитать s_i в соответствии с выражением

$$s_i = \sqrt{\frac{(g_i p_i + T_i)x}{(1-x)w_i}}. \quad (2)$$

На основе полученной информации о планируемых расходах g_i центр распределяет ресурс R_0 в соответствии с процедурой

$$V_i = \frac{g_i}{\sum_{j=1}^n g_j} R_0. \text{ Так как при пропорциональном распределении больше}$$

получает то предприятие, которое больше заявляет, то центр таким образом стремится стимулировать предприятия к тому, чтобы они направляли больше средств на снижение уровня риска.

Информация об объемах выпуска требуется центру для того, чтобы для каждого предприятия определить предельный уровень риска

$$x_i(g_i) = \frac{w_i s_i^2}{w_i s_i^2 + p_i(V_i + g_i) + T_i}. \quad (3)$$

После того как для i -го предприятия рассчитано значение x_i , предприятие определяет объем выпуска u_i и объем средств v_i таким образом, чтобы его прибыль (1) была наибольшей. То есть, задача максимизации прибыли записывается в виде

$$\begin{cases} c_i u_i - \frac{1}{2} r_i q_i \left(\frac{u_i^2}{q_i^2} + 1 \right) - v_i \rightarrow \max, \\ \frac{w_i u_i^2}{w_i u_i^2 + p_i (v_i + V_i) + T_i} = x_i. \end{cases}$$

Решение этой задачи имеет вид

$$u_i = \frac{p_i q_i c_i x_i}{2 q_i w_i (1 - x_i) + r_i p_i x_i},$$

$$v_i = \frac{u_i}{2} \left(c_i - \frac{r_i}{q_i} u_i \right) - \frac{T_i}{p_i} - V_i.$$

Прибыль i -го предприятия в этом случае записывается как

$$f_i(g) = \frac{1}{2} \frac{p_i q_i c_i^2 x_i}{2 q_i w_i (1 - x_i) + r_i p_i x_i} + \frac{T_i}{p_i} + V_i - \frac{1}{2} r_i q_i,$$

где $g = (g_1, g_2, \dots, g_n)$.

Прибыль каждого предприятия зависит от значений $\{g_i\}$, которые сообщаются в центр всеми предприятиями. Влияние информации, сообщаемой предприятием, на получаемую прибыль определяется выражением $\frac{\partial f_i}{\partial g_i} = \frac{1}{2} p_i q_i c_i^2 \frac{2 q_i w_i}{[2 q_i w_i (1 - x_i) + p_i x_i]^2} \frac{\partial x_i}{\partial g_i} + \frac{\partial V_i}{\partial g_i}$. Не-

трудно убедиться, что $\frac{\partial x_i}{\partial g_i} > 0$ и $\frac{\partial V_i}{\partial g_i} > 0$, и, следовательно, предприятиям выгодно максимально увеличивать планируемый объем средств на снижение уровня риска.

Утверждение 3.3. Если для предприятий региона не ввести ограничения на планируемый объем средств на снижение уровня риска, то предельно допустимый уровень риска x_i , определяемый для каждого предприятия индивидуально, в пределе стремится к первоначально установленному единому предельно допустимому уровню риска x .

Доказательство утверждения 3.3. Из (3) получаем:

$$x_i(g) = \frac{\left(p_i + \frac{T_i}{g_i} \right) x}{\left(p_i + \frac{T_i}{g_i} \right) x + \left[p_i \left(\frac{R}{\sum_{j=1}^n g_j} + 1 \right) + \frac{T_i}{g_i} \right] (1 - x)}. \quad (4)$$

Предел $\lim_{g_i \rightarrow \infty} x_i(g) = x$, то есть предельно допустимый уровень

риска x_i , определяемый для каждого предприятия индивидуально, при стремлении предприятий увеличить планируемые объемы средств на снижение уровня риска мало отличается от первоначально установленного уровня. Утверждение 3.3 доказано.

Таким образом, несмотря на то, что центр израсходовал фонд в размере R_0 на финансирование снижения уровня риска, предельно допустимый уровень риска для каждого предприятия региона не уменьшился по отношению к первоначально установленному.

Однако, если центр введет ограничения для предприятий на планируемый объем средств на снижение уровня риска, то он может добиться определенного эффекта. Действительно, пусть G_0 – максимальный объем средств, который может запланировать предприятие, тогда для $g_i = G_0, i = 1, 2, \dots, n$ выражение (4) можно переписать в виде $x_i(g) = \frac{(p_i G_0 + T_i)x}{p_i \frac{R}{n}(1-x) + G_0 p_i + T_i}$, а так как $\frac{\partial x_i}{\partial G_0} > 0$, то отсюда

следует, что чем меньше максимальный объем средств, который может запланировать предприятие на снижение уровня риска, тем меньше будет индивидуально назначаемый максимально допустимый уровень риска для предприятия.

3.4. МЕХАНИЗМЫ КОМПЕНСАЦИИ ЗАТРАТ НА СНИЖЕНИЕ УРОВНЯ РИСКА

Принципиальное отличие механизма финансирования мероприятий на снижение уровня риска от механизма компенсации затрат заключается в следующем. При действии механизма финансирования средства на снижение уровня риска поступают на предприятие до того, как соответствующие мероприятия были проведены, в то время как механизм компенсации включается после того, как мероприятия по снижению уровня риска уже были проведены.

Будем считать, что центр осуществляет компенсацию предприятиям, распределяя между ними фонд R_0 . Пусть этот фонд распределяется пропорционально средствам, которые выделяют сами предприятия на снижение уровня риска, то есть

$$V_i = \frac{v_i}{\sum_{j=1}^n v_j} R. \quad (1)$$

Если $V_i < v_i$ – это частичная компенсация, если $V_i = v_i$ – полная компенсация, а если $V_i > v_i$ – полная компенсация со стимулированием. При действии данного механизма прибыль i -го предприятия может быть представлена в виде $f_i = c_i u_i - z_i(u_i) - v_i + \frac{v_i}{\sum_{j=1}^n v_j} R_0$.

Для максимизации своей прибыли i -е предприятие определяет объем выпуска и объем средств на снижение уровня риска из решения задачи

$$c_i u_i - z_i(u_i) + \frac{v_i}{\sum_{j=1}^n v_j} R_0 - v_i \rightarrow \max_{(u_i, v_i)}. \quad (2)$$

Объем средств на снижение уровня риска определяется из решения задачи $\frac{v_i}{\sum_{j=1}^n v_j} R_0 - v_i \rightarrow \max$, которое записывается в виде

$$v_i = \sqrt{\sum_{j \neq i}^n v_j} \left(\sqrt{R_0} - \sqrt{\sum_{j \neq i}^n v_j} \right).$$

В ситуации равновесия по Нэшу [50], объем средств, выделяемых предприятием на снижение риска, будет определяться как $v_i = \frac{n-1}{n^2} R_0$. Отсюда следует, что размер средств, которые поступают на предприятие из фонда, равен $V_i = \frac{R_0}{n}$. То есть, эти средства не только покрывают расходы предприятия, но и увеличивают его прибыль на величину $V_i - v_i = \frac{R_0}{n^2}$.

Если бы средства в фонде отсутствовали, то есть $R_0 = 0$, то уровень риска, связанный с деятельностью i -го предприятия, определялся бы выражением (см. выражение (2.1.9)): $x_i(u_i^*, 0) = \frac{\omega(u_i^*)}{\omega(u_i^*) + T_i}$, соответственно, уровень риска для случая, когда $R_0 \neq 0$, определяется как

$$x_i\left(u_i^*, \frac{n-1}{n^2} R_0\right) = \frac{\omega(u_i^*)}{\omega(u_i^*) + \theta\left(\frac{n-1}{n^2} R_0\right)}.$$

Таким образом, использование средств из фонда R_0 в соответствии с процедурой (1) для компенсации затрат предприятий на снижение уровня риска уменьшает уровень риска на величину

$$x_i(u_i^*, 0) - x_i\left(u_i^*, \frac{n-1}{n^2} R_0\right) = \frac{\omega(u_i^*) \times \left[\theta\left(\frac{n-1}{n^2} R_0\right) - T_i\right]}{\left[\omega(u_i^*) + T_i\right] \times \left[\omega(u_i^*) + \theta\left(\frac{n-1}{n^2} R_0\right)\right]}.$$

Отметим, что объем выпуска продукции на предприятиях не изменяется при увеличении фонда R_0 . Если же потребовать, чтобы размер компенсации не превышал потраченных предприятием средств, то этот механизм, без использования механизмов контроля уровня риска, не приведет к уменьшению уровня риска в регионе.

3.5. МЕХАНИЗМЫ ПРОДАЖИ КВОТ НА УРОВЕНЬ РИСКА

При действии этого механизма центр должен обеспечить уровень безопасности в регионе равный X . Когда в регионе функционируют n предприятий, и УБ, связанный с деятельностью i -го предприятия, равен $(1 - x_i)$, а УБ всего региона определяется как $\prod_{i=1}^n (1 - x_i)$, то

общий объем квот, который центр может продать предприятиям, определяется из условия $\prod_{i=1}^n (1 - x_i) = X$. Для продажи квот центр на-

значает цену продаж λ , затем предприятия рассчитывают размер квот, которые они хотели бы купить по этой цене. Один из вариантов определения размера заявок заключается в следующем. Сначала решается задача (2) предыдущего раздела и находятся значения u_i^* и v_i^* , которые обеспечивают получение максимальной прибыли предприятию в случае, когда за квоту равную x_i предприятие должно заплатить сумму в размере λx_i . После этого рассчитывается размер заявки $s_i = x_i(u_i^*, v_i^*)$. Эта заявка сообщается в центр. Если ока-

зывается, что $\prod_{i=1}^n (1 - s_i) \geq X$, то центр продает каждому предприятию квоту в размере

$$x_i = s_i. \quad (1)$$

Если же

$$\prod_{i=1}^n (1 - s_i) < X, \quad (2)$$

то для определения размера квот центр определяет, во сколько раз продаваемая квота будет меньше запрашиваемой. Для этого центром решается задача

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n \lambda a_i s_i \rightarrow \max_{\{a_i\}} \\ \prod_{i=1}^n (1 - a_i s_i) = X, \\ 0 < a_i \leq 1. \end{cases} \quad (3)$$

Последнее неравенство означает, что при заданной цене предприятию не может продаваться больший размер квоты, чем само предприятие запросило для себя. Другими словами, должно всегда выполняться условие $x_i \leq s_i$, или $a_i \leq 1$.

Аналитически задачу (3) решить сложно. Но если использовать последовательный алгоритм решения этой задачи, то можно получить аналитическое решение.

На первом шаге решается задача

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n \lambda a_i s_i \rightarrow \max_{\{a_i\}}, \\ \prod_{i=1}^n (1 - a_i s_i) = X. \end{cases}$$

Ее решение имеет вид $a_i^{(1)} = \frac{1}{s_i} \left(1 - X^{\frac{1}{n}} \right)$. Обозначим через Q

множество номеров предприятий находящихся в регионе, $Q_1 = \{i \in Q | a_i^{(1)} > 1\}$. Если $Q_1 = \emptyset$, то размер квоты, предназначенной i -му предприятию будет равен $x_i = a_i^{(1)} s_i = 1 - X^{\frac{1}{n}}$. Если же $Q_1 \neq \emptyset$, то для всех $i \in Q_1$, размер квоты определяется выражением (1). Очевидно, что $Q \neq Q_1$, иначе не выполнялось бы условие (2).

Второй шаг. Пусть m_1 — количество элементов, содержащихся во множестве Q_1 . Тогда для оставшихся $(n - m_1)$ предприятий задачу определения квот следует записывать в виде

$$\begin{cases} \sum_{i \in Q \setminus Q_1} \lambda a_i s_i \rightarrow \max_{\{a_i\}} \\ \prod_{i \in Q \setminus Q_1} (1 - a_i s_i) = \frac{X}{\prod_{i \in Q_1} (1 - s_i)}. \end{cases}$$

Решение этой задачи имеет вид $a_i^{(2)} = \frac{1}{s_i} \left[1 - \left(\frac{X}{\prod_{i \in Q_1} (1 - s_i)} \right)^{\frac{1}{n - m_1}} \right]$.

Обозначим $Q_2 = \{i \in Q \mid a_i^{(2)} > 1\}$, тогда если $Q_2 = \emptyset$, то размер квоты, предназначенной i -му предприятию для $i \in Q \setminus Q_1$, будет равен

$$x_i = 1 - \left(\frac{X}{\prod_{i \in Q_1} (1 - s_i)} \right)^{\frac{1}{n - m_1}}.$$

Если же $Q_2 \neq \emptyset$, то для всех $i \in Q_2$, размер квоты определяется выражением (1).

Третий шаг. Пусть m_2 — количество элементов, содержащихся в множестве Q_2 . Тогда для оставшихся $(n - m_1 - m_2)$ предприятий задачу определения квот следует записывать в виде

$$\begin{cases} \sum_{i \in Q \setminus [Q_1 \cup Q_2]} \lambda a_i s_i \rightarrow \max_{\{a_i\}} \\ \prod_{i \in Q \setminus [Q_1 \cup Q_2]} (1 - a_i s_i) = \frac{X}{\prod_{i \in Q_1 \cup Q_2} (1 - s_i)}. \end{cases}$$

Решение этой задачи имеет вид

$$a_i^{(3)} = \frac{1}{s_i} \left[1 - \left(\frac{X}{\prod_{i \in Q_1 \cup Q_2} (1 - s_i)} \right)^{\frac{1}{n - m_1 - m_2}} \right].$$

Теперь определяется множество $Q_3 = \{i \in Q \mid a_i^{(3)} > 1\}$, и так далее. Итерации продолжаются до тех пор, пока не получим $Q_k = \{i \in Q \mid a_i^{(k)} > 1\} = \emptyset$.

Таким образом, решение поставленной задачи записывается следующим образом.

Для $i \in Q \setminus [Q_1 \cup Q_2 \cup \dots \cup Q_{k-1}]$

$$a_i = \frac{1}{s_i} \left[1 - \frac{\left(\frac{X}{\prod_{j \in Q_1 \cup Q_2 \cup \dots \cup Q_{k-1}} (1 - s_j)} \right)^{\frac{1}{n - m_1 - m_2 - \dots - m_{k-1}}}}{1} \right],$$

и, соответственно, $x_i = 1 - \left(\frac{X}{\prod_{i \in Q_1 \cup Q_2 \cup \dots \cup Q_{k-1}} (1 - s_i)} \right)^{\frac{1}{n - m_1 - m_2 - \dots - m_{k-1}}}$.

Для $i \in Q_1 \cup Q_2 \cup \dots \cup Q_{k-1}$ $a_i = 1$ и, соответственно, $x_i = s_i$.

Утверждение 3.4. Результат, полученный с помощью последовательного алгоритма, является решением задачи (3).

Доказательство утверждения 3.4. Обозначим $Q = Q_1 \cup Q_2 \cup \dots \cup Q_{k-1}$ и предположим, что все заявки на квоты упорядочены по возрастанию, то есть $s_1 \leq s_2 \leq \dots \leq s_n$, и существует такое j , что $j \in Q$, а $(j+1) \notin Q$. В этом случае для $i \leq j$ $x_i = s_i$, а для $i > j$

$$x_i = 1 - \left(\frac{X}{\prod_{i=1}^j (1 - s_i)} \right)^{\frac{1}{n-j}}, \text{ и } \sum_{i=1}^n a_i s_i = \sum_{i=1}^j s_i + (n-j) \left[1 - \left(\frac{X}{\prod_{i=1}^j (1 - s_i)} \right)^{\frac{1}{n-j}} \right].$$

Пусть a_i – решение задачи (3), и это решение не совпадает с результатом, полученным с помощью последовательного алгоритма. Тогда должно выполняться неравенство

$$\sum_{i=1}^n a_i s_i > \sum_{i=1}^j s_i + (n-j) \left[1 - \left(\frac{X}{\prod_{i=1}^j (1 - s_i)} \right)^{\frac{1}{n-j}} \right].$$

Перепишем это неравенство в виде

$$\sum_{i=1}^j a_i s_i + \sum_{i=j+1}^n a_i s_i > \sum_{i=1}^j s_i + (n-j) \left[1 - \left(\frac{X}{\prod_{i=1}^j (1-s_i)} \right)^{\frac{1}{n-j}} \right]. \quad (4)$$

Так как по условию задачи $a_i \leq 1$, то $\sum_{i=1}^j a_i s_i \leq \sum_{i=1}^j s_i$, поэтому, для того чтобы выполнялось неравенство (4), должно быть справедливо соотношение

$$\sum_{i=j+1}^n a_i s_i \geq (n-j) \left[1 - \left(\frac{X}{\prod_{i=1}^j (1-s_i)} \right)^{\frac{1}{n-j}} \right],$$

или

$$\sum_{i=j+1}^n a_i s_i \geq (n-j) \left[1 - \left(\prod_{i=j+1}^n (1-s_i) \right)^{\frac{1}{n-j}} \right]. \quad (5)$$

Но, если справедливо неравенство (5), тогда всегда должно быть справедливо неравенство $\sum_{i=j+1}^n s_i \geq (n-j) \left[1 - \left(\prod_{i=j+1}^n (1-s_i) \right)^{\frac{1}{n-j}} \right]$. Пере-

пишем это неравенство в виде $\left(\prod_{i=j+1}^n (1-s_i) \right)^{\frac{1}{n-j}} \geq 1 - \frac{\sum_{i=j+1}^n s_i}{n-j}$. Обозначая $t_i = 1 - s_i$, получим

$$\left(\prod_{i=j+1}^n t_i \right)^{\frac{1}{n-j}} \geq \frac{\sum_{i=j+1}^n t_i}{n-j}. \quad (6)$$

Итак, корень $(n-j)$ -й степени из произведения $(n-j)$ чисел больше или равен среднему арифметическому этих чисел. Причем все эти числа положительные, то есть $t_i > 0$. Но из неравенства Коши [63] следует, что среднее арифметическое $(n-j)$ положительных чисел больше или равно корня $(n-j)$ -й степени из произведения этих

чисел, то это соответствует тому, что неравенство (6) выполняться не может. Отсюда следует, что не может выполняться и неравенство (5). А если не выполняется неравенство (5), то это значит, что результат, полученный с помощью последовательного алгоритма, совпадает с решением задачи (3). Утверждение 3.4 доказано.

Рассмотрим следующий пример. Пусть в регионе функционируют восемь предприятий, и для всех них справедливо (2.1.19) и (2.1.20), тогда при назначенной центром цене λ заявка i -го предприятия на квоту определяется выражением

$$s_i = q_i \sqrt{\frac{w_i}{\lambda} \frac{2\sqrt{\lambda w_i} - c_i \sqrt{\theta_{0_i}}}{2w_i q_i - \theta_{0_i} r_i}}. \quad (7)$$

Для значений параметров, представленных в табл. 4.11 и цене $\lambda = 10000$, заявки на квоты, рассчитанные в соответствии с (7), представлены в табл. 4.12.

Т а б л и ц а 4.11.

Пред- приятие Параметр	1	2	3	4	5	6	7	8
w	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009	0,01	0,011	0,012
θ_0	0,8	0,69	0,84	0,75	0,86	0,89	0,85	0,95
c	60	70	70	80	80	90	100	110
r	20	22	24	26	28	30	35	35
q	190	171	150	130	140	90	80	70
T	1000	1000	1100	1100	1200	1200	1300	1300

Т а б л и ц а 4.12.

Предпри- ятие	1	2	3	4	5	6	7	8
заявка (10^{-1})	0,194	0,206	0,181	0,200	0,209	0,202	0,204	0,253

Предположим, что уровень безопасности, который должен быть обеспечен в регионе, равен $X = 0,85$. Тогда из первого этапа последовательного алгоритма следует, что каждому предприятию выделяется квота в размере $x_i = 1 - \sqrt[8]{0,85} = 0,0201$, $i = 1, 2, \dots, 8$. Но, заявки первого, третьего и четвертого предприятий меньше выделенных квот, поэтому они выкупают ровно столько квот, сколько заявляли и обеспечивают уровень безопасности равный

$$(1 - 0,0194) \times (1 - 0,0181) \times (1 - 0,02) = 0,9435.$$

Отсюда следует, что деятельность остальных пяти предприятий должна обеспечить уровень безопасности не меньший чем

$$\frac{0,85}{0,9435} = 0,9009.$$

Из второго этапа последовательного алгоритма следует, что второму, пятому, шестому, седьмому и восьмому предприятиям выделяется квота в размере $x_i = 1 - \sqrt[5]{0,9009} = 0,0207$, $i = 2, 5, 6, 7, 8$. А, так как заявки второго, шестого и седьмого предприятий меньше выделенных квот, поэтому они также будут выкупать ровно столько квот, сколько заявляли. Таким образом, если будут удовлетворены заявки на покупку квот всех предприятий, кроме пятого и восьмого, то их деятельность обеспечит уровень безопасности равный

$$(1 - 0,0194) \times (1 - 0,0206) \times (1 - 0,0181) \times (1 - 0,02) \times \\ \times (1 - 0,0202) \times (1 - 0,0204) = 0,8869.$$

Соответственно деятельность пятого и восьмого предприятий должна обеспечить уровень безопасности не меньший чем

$$\frac{0,85}{0,8869} = 0,9584.$$

Третий этап последовательного алгоритма показывает, что пятому и восьмому предприятиям выделяется квота в размере $x_i = 1 - \sqrt[2]{0,9584} = 0,021$, $i = 5, 8$. То есть, заявка пятого предприятия также может быть полностью удовлетворена. В этом случае деятельность первых семи предприятий обеспечит уровень безопасности в регионе равный $(1 - 0,0194) \times (1 - 0,0206) \times (1 - 0,0181) \times (1 - 0,02) \times (1 - 0,0209) \times (1 - 0,0202) \times (1 - 0,0204) = 0,8683$.

Поэтому восьмому предприятию будет выделена квота в размере $x_8 = 1 - \frac{0,85}{0,8683} = 0,0211$. Таким образом, всем предприятиям, кроме восьмого, продается такой размер квот, который они запросили, а восьмому предприятию квота уменьшена.

3.6. МЕХАНИЗМЫ СТРАХОВАНИЯ

Если в [23] и в разделе 2.5 настоящей работы рассматривались задачи исследования манипулируемости механизмов принятия решений, используемых в экологическом страховании (механизмы взаимного страхования, скидок и т.д.), то в настоящем разделе основ-

ной акцент будет делаться на изучении в рамках моделей страхования механизмов управления, побуждающих страхователей (предприятия региона) выбирать определенные действия. Соответствующий обширный класс механизмов в теории управления организационными системами получил название *механизмов стимулирования* [98]. В частности, в настоящем разделе исследуется роль экологического страхования в побуждении страхователей к выбору действий, приводящих к снижению вероятностей наступления страхового случая, ожидаемых потерь и т.д., а также к увеличению затрат на предупредительные мероприятия.

Предупредительная и мотивационная роль страхования. Рассмотрим модель взаимодействия страховщика с одним страхователем, о котором первый имеет всю необходимую информацию. Пусть деятельность страхователя описывается: его действием $u \geq 0$, которое в зависимости от контекста может интерпретироваться как объем производимой страхователем продукции, оказываемых услуг и т.д., и суммой $v \geq 0$, затрачиваемой страхователем на предупредительные (и природоохранные) мероприятия. От действия страхователя зависит его доход $H(u)$, затраты $z(u)$ и вероятность наступления страхового случая $p(v, u)$, причем последняя величина зависит также и от объема средств v , затрачиваемых на предупредительные мероприятия, то есть:

$$E f(v, u) = H(u) - z(u) - v - \kappa(v, u) + p(v, u) [(1 + \xi) V(v, u) - W], \quad (1)$$

где параметр $\xi \geq 0$ отражает степень несклонности страхователя к риску [23, 177], $\kappa(\cdot)$ – страховой взнос, $V(\cdot)$ – страховое возмещение, W – ущерб страхователя от наступления страхового случая.

Так как нас интересуют свойства механизмов страхования, а не «производственная» деятельность страхователя, то выберем простейшие зависимости затрат и дохода от его действия: $H(u) = c u$, $z(u) = z_0 + \alpha_0 u$, где c может интерпретироваться как цена, по которой страхователь реализует свою продукцию, z_0 – постоянные издержки, α_0 – удельные переменные издержки. Из условия $H(u) - z(u) - v \geq 0$ можно определить точку безубыточности $u_0(v)$ – минимальный объем производства, при котором деятельность страхователя еще выгодна: $u_0(v) = (z_0 + v) / (c - \alpha_0)$.

Относительно зависимости вероятности наступления страхового случая от u и v предположим, что: $p'_u \geq 0$, $p'_v \leq 0$, $p''_{uv} \leq 0$, $p''_{vv} \geq 0$.

В отсутствие страхования целевая функция страхователя равна

$$E f(v, u) = H(u) - z(u) - v - p(v, u) W. \quad (2)$$

Следовательно, без учета ограничения безубыточности оптимальной стратегией страхователя будет выбор (v^*, u^*) :

$$\begin{cases} \frac{\partial p(v^*, u^*)}{\partial u} = \frac{\beta_0}{W}, \\ \frac{\partial p(v^*, u^*)}{\partial v} = -\frac{1}{W}. \end{cases} \quad (3)$$

где $\beta_0 = c - \alpha_0$. Рассмотрим следующий пример, иллюстрирующий данные зависимости.

Пример 3.6.1. Пусть $p(v, u) = e^{-k_v v} (1 - e^{-k_u u})$, где k_v и k_u – положительные константы. Решая уравнения (3), получим:

$$v^* = \frac{1}{k_v} \ln \frac{W k_u k_v}{k_u + \beta_0 k_v}, \quad u^* = \frac{1}{k_u} \ln \left(1 + \frac{k_u}{\beta_0 k_v} \right).$$

Ожидаемые потери $E W$ при этом равны $1 / K_v$.²⁵

В присутствии страхования, если осуществляется полная компенсация ущерба, то есть $V = W / (1 + \xi)$, то без учета ограничения безубыточности оптимальной стратегией страхователя будет выбор (v^*, u^*) :

$$\begin{cases} \frac{\partial \kappa(v^*, u^*)}{\partial u} = \beta_0, \\ \frac{\partial \kappa(v^*, u^*)}{\partial v} = -1. \end{cases} \quad (4)$$

Если $\xi_0(v, u)$ – нагрузка к нетто-ставке страхования [23], и имеет место

$$\kappa(v, u) = \frac{\xi_0(v, u) + p(v, u)}{1 + \xi} W, \quad (5)$$

то (4) примет вид

$$\begin{cases} \xi'_{0u}(v^*, u^*) + p'_u(v^*, u^*) = \frac{\beta_0(1 + \xi)}{W}, \\ \xi'_{0v}(v^*, u^*) + p'_v(v^*, u^*) = -\frac{1 + \xi}{W}. \end{cases} \quad (6)$$

²⁵ Символ «•» здесь и далее обозначает окончание примера.

В рамках рассматриваемой модели стратегией страховщика является выбор зависимости $\xi_0(\cdot)$ нагрузки к нетто-ставке²⁶ от затрат на предупредительные мероприятия и действий страхователя.

Несколько забегаая вперед, отметим, что сравнение свойств систем уравнений (3) и (6) является ключевым инструментом анализа предупредительных и мотивационных свойств экологического страхования.

Под *предупредительной ролью страхования* будем понимать его свойство побуждать страхователей увеличивать отчисления на предупредительные мероприятия. Под *мотивационной ролью страхования* будем понимать его свойство побуждать страхователей выбирать действия, снижающие «ущерб» от наступления страховых случаев (каждый раз при рассмотрении тех или иных моделей страхования необходимо конкретизировать – что понимается под «ущербом» – вероятность наступления страхового случая, ожидаемые потери, ожидаемые потери с учетом затрат на страхование и предупредительные мероприятия и т.д.).

Следующее утверждение констатирует, что при постоянной нагрузке страхование не играет ни предупредительной, ни мотивационной роли, а, наоборот, побуждает страхователя выбирать стратегии, увеличивающие ожидаемые потери по сравнению с ожидаемыми потерями в отсутствие страхования.

Утверждение 3.5. Если $\xi_0 = \text{Const}$, то $u^* \leq u_*$, $v^* \leq v_*$.

Доказательство утверждения 3.5. Если $\xi_0 = \text{Const}$, то (6) примет вид:

$$\begin{cases} p'_u(v^*, u^*) = \frac{\beta_0(1+\xi)}{W}, \\ p'_v(v^*, u^*) = -\frac{1+\xi}{W}. \end{cases} \quad (7)$$

Сравнивая (3) и (7) с учетом свойств зависимости²⁷ $p(\cdot)$ и того, что $\xi \geq 0$, получаем, что $u^* \leq u_*$, $v^* \leq v_*$. Утверждение 3.5 доказано.

²⁶ В экологическом страховании нагрузка к нетто-ставке включает рисковую, коммерческую и предупредительную нагрузки. Для простоты в первом приближении можно считать, что ξ_0 – предупредительная нагрузка, характеризующая объем средств (точнее долю от страховых платежей), направляемых страховщиком на проведение предупредительных мероприятий.

Пример 3.6.2. Решая уравнения (7) для данных примера 3.6.1, получим, что введение страхования приведет к тому, что страхователь выберет то же действие, что и в отсутствие страхования, но уменьшит отчисления на предупредительные мероприятия:

$$v^* = v_* - \frac{1}{k_v} \ln(1 + \xi) \leq v_*, u^* = \frac{1}{k_u} \ln\left(1 + \frac{k_u}{\beta_0 k_v}\right) = u_*.$$

Ожидаемые потери при этом равны $(1 + \xi) / k_v$, то есть возрастают в $(1 + \xi)$ раз по сравнению со случаем отсутствия страхования²⁸ (см. пример 3.6.1).

На рис. 4.37 на плоскости переменных (u, v) изображено множество стратегий, допустимых с точки зрения ограничения безубыточности, а также линии уровня функции $p(v, u)$ (направление возрастания отмечено стрелкой). Видно, что требования увеличения отчислений на предупредительные мероприятия и увеличения действий «противоречат» друг другу. Экологическое страхование является одним из инструментов «смягчения» этого противоречия. •

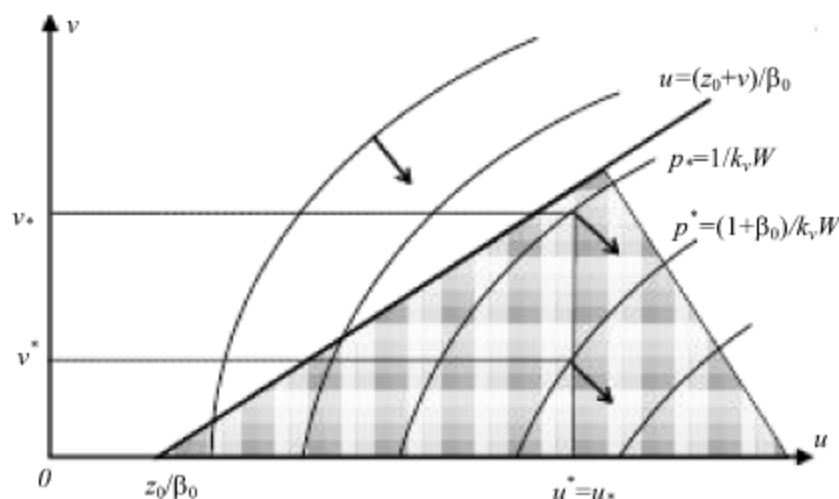


Рис. 4.37. Область допустимых стратегий и оптимальные стратегии страхователя для примеров 3.6.2 и 3.6.3

²⁷ Выше мы предположили, в том числе, вогнутость функции $p(\cdot)$ по действию страхователя. Результат утверждения 3.6.1 изменится, если предположить выпуклость (см. пример 3.6.3 ниже). В общем случае (если $p(\cdot)$ имеет точки перегиба и т.д.) нельзя однозначно утверждать что введение страхования всегда уменьшает или всегда увеличивает равновесные значения стратегий страхователя.

²⁸ Данный вывод не должен шокировать, так как при страховании, в рамках введенных выше предположений, ожидаемые потери полностью компенсируются.

Важный качественный вывод, следующий из утверждения 3.5, заключается в том, что для того, чтобы страхование оказывало предупредительное и мотивационное воздействие на страхователя, параметры страхового контракта должны гибким образом зависеть от стратегий, выбираемых последним.

Кроме того, утверждение 3.5 является формальной иллюстрацией свойства *морального риска* – застрахованный субъект стремится избежать риска меньше, чем незастрахованный [172].

Анализ систем уравнений (3) и (7), а также графические интерпретации, приведенные на рис. 4.37, подсказывают, что для того, чтобы страхование оказывало на страхователя предупредительное и мотивационное воздействие, необходимо, чтобы нагрузка к нетто-ставке и/или страховой тариф зависели от стратегий страхователя. Поэтому рассмотрим условия, которым должны удовлетворять параметры страхового контракта для обеспечения требуемого поведения страхователя. Для простоты будем рассматривать модели, в которых переменной является только одна из компонент стратегии страхователя – либо отчисления на предупредительные мероприятия, либо действие.

Пусть единственной переменной является величина отчислений v на предупредительные мероприятия (действие страхователя фиксировано). Тогда из (3) и (6) получаем:

$$p'_v(v_*) = -\frac{1}{W}, \quad \xi'_{0v}(v^*) + p'_v(v^*) = -\frac{1+\xi}{W}. \quad (8)$$

Из (8) следует, что в силу введенных выше предположений для обеспечения $v^* \geq v_*$ необходимо выполнение следующего условия:

$$\xi'_{0v}(\cdot) \leq -\frac{\xi}{W}. \quad (9)$$

Легко видеть, что, например, при $\xi_0(v) = \xi_0 - \xi v / W$ в силу (8) получаем $v^* = v_*$. Для обеспечения условий необходимости и достаточности следует вспомнить (см. [23]), что страхование будет взаимовыгодным, если выполнено следующее условие:

$$\forall v \geq 0 \quad \xi_0(v) \leq \xi p(v). \quad (10)$$

В предельном случае (при выполнении (10) как равенства) получаем, что $v^* = v_*$, то есть введение страхования не изменяет отчислений на предупредительные мероприятия!

Аналогичным образом рассмотрим случай, когда единственной переменной является действие²⁹ страхователя u , а величина отчислений на предупредительные мероприятия фиксирована. Тогда из (3) и (6) получаем:

$$p'_u(u_*) = \frac{\gamma}{W}, \quad \xi'_{0u}(u^*) + p'_y(u^*) = \frac{(1+\xi)\beta_0}{W}. \quad (11)$$

Из (11) следует, что в силу введенных выше предположений для обеспечения $v^* \geq v_*$ необходимо выполнение следующего «аналогичного» (10) условия:

$$\xi'_{0u}(\cdot) \leq \frac{\xi\beta_0}{W}. \quad (12)$$

Легко видеть, что, например, при $\xi_{0u}(u) = \xi \beta_0 u / W$ в силу (8) получаем $u^* = u_*$. Для обеспечения необходимости и достаточности следует вспомнить, что страхование будет взаимовыгодным, если выполнено следующее условие:

$$(13) \quad \forall v \geq 0 \quad \xi_{0u}(u) \leq \xi p(u).$$

В предельном случае (при выполнении (13) как равенства) получаем, что $u^* = u_*$, то есть введение страхования не изменяет равновесных действий страхователя!

Отметим, что в силу (10) и (13), если оптимальное действие страхователя в отсутствие страхования принадлежало области безубыточности, то есть выполнялось: $u_* \geq u_0(v_*)$, то и при наличии страхования оптимальное действие страхователя также будет принадлежать области безубыточности, то есть будет иметь место: $u^* \geq u_0(v^*)$. Содержательно это свойство объясняется тем, что ожидаемые потери учитываются в целевой функции страхователя неза-

²⁹ Если в случае переменных затрат на предупредительные мероприятия предупредительная функция экологического страхования заключалась в побуждении страхователя увеличивать эти затраты, то в случае переменных действий страхователя, в силу отмеченной выше «противоречивостью» между производственными и экологическими целями, в общем случае неясно, следует побуждать страхователя выбирать большие или меньшие действия. Для определенности предположим, что одна из целей страхования – побуждать страхователя снижать вероятность наступления страхового случая и, следовательно, снижать ожидаемые потери, за счет выбора меньших действий (например, за счет непревышения объемом производства некоторой критической величины). В примере 3.6.3 рассматривается противоположный случай – когда наличие фиксированной нагрузки при страховании побуждает страхователя выбирать большие действия, чем в отсутствие страхования.

висимо от наличия или отсутствия страхования, а условия типа (10) и (13) являются «условиями участия» [172], отражающие выгодность страхования для страхователя (то есть условия того, что при заключении страхового контракта его ожидаемая полезность не уменьшится).

Суммируем полученные результаты, сформулировав их в виде следующего утверждения.

Утверждение 3.6. Предупредительная роль страхования имеет место, если выполнены условия (9)-(10). Мотивационная роль страхования имеет место, если выполнены условия (12)-(13). Если выполнено

$$\xi_0(v, u) = \xi p(v, u), \quad (14)$$

то наличие страхования не изменяет действий страхователя и его отчислений на предупредительные мероприятия.

Приведем следующий пример, иллюстрирующий мотивационную роль экологического страхования (отметим, что в примере 3.6.3 не выполнено введенное выше предположение о том, что $p''_{uu} \leq 0$).

Пример 3.6.3. Пусть $u \in [0; u^+]$, $p(u) = (u / u^+)^2$. Вычисляем оптимальное действие u_* страхователя в отсутствие страхования (то есть действие, максимизирующее (2)): $u_* = u^+ \beta_0 / 2W$. При страховании с фиксированной нагрузкой к нетто-ставке оптимальное действие u^* страхователя в отсутствие страхования (то есть действие, максимизирующее (1)) будет $u^* = (1 + \xi) u^+ \beta_0 / 2W$.

Итак, при наличии страхования (и полной компенсации потерь!) страхователю выгодно выбирать бóльшие действия, чем при отсутствии страхования: $u^* \geq u_*$. •

Завершив рассмотрение предупредительной и мотивационной роли страхования, перейдем к описанию результатов исследования специфики страхования в многоэлементных системах.

Специфика страхования в многоэлементных системах. В разделе 2.5 рассматривались механизмы страхования в многоэлементных системах (то есть в системах, состоящих из одного страховщика и нескольких страхователей), в которых страхователи были независимы. Независимость страхователей проявлялась в первую очередь в том, что вероятность наступления страхового случая у каждого страхователя зависела только от его собственных пара-

метров и действий и не зависела от параметров и действий других страхователей.

На практике распространены ситуации, в которых вероятности наступления страховых случаев взаимозависимы. Примерами причин, обуславливающих такую взаимозависимость, являются: наличие технологических связей между страхователями, их территориальная близость и т.д. Для отражения «взаимодействия» между страхователями будем в формальных моделях, рассматриваемых в настоящем разделе, предполагать, что вероятность наступления страхового случая у каждого из n страхователей зависит от действий всех страхователей, то есть: $p_i = p_i(u)$, где $u = (u_1, u_2, \dots, u_n)$ – вектор действий страхователей (выбираемых предприятиями объемов производства), $i \in Q = \{1, 2, \dots, n\}$.

Последовательность функционирования (порядок получения информации и выбора стратегий участниками системы – страховщиком и страхователями) будем предполагать следующим: страховщик предлагает каждому из страхователей заключить страховой контракт, в соответствии с которым страхователь делает взнос, зависящий от его действий (и в общем случае, быть может, от действий других страхователей) и при наступлении страхового случая получает полное возмещение ущерба; затем страхователи одновременно и независимо выбирают свои действия, в результате чего «определяются» вероятности наступления страховых случаев.

Специфика страхования в многоэлементных системах заключается в том, что страхователи, заключившие страховые контракты с одним страховщиком, оказываются вовлеченными в игру, в которой выигрыш каждого из них зависит не только от его собственных действий, но и от действий других страхователей [23, 29]. Следовательно, для прогноза выбираемых страхователями при заданных страховых контрактах действий, страховщик должен «предсказать» их поведение, то есть определить равновесие игры страхователей.

Системы такого рода в теории управления организационными системами получили название систем с сильно связанными элементами. Общие результаты их теоретического исследования изложены в [98]. Основная идея управления в многоэлементных системах заключается в том, чтобы выбрать управляющие воздействия, *декомпозирующие игру* управляемых субъектов, то есть позволяющие управляющему органу эффективно предсказывать то состояние системы, в котором она окажется при данном управлении. Вторая

задача – задача выбора управления, приводящего систему в состояние, наиболее предпочтительное с точки зрения управляющего органа, как правило, решается гораздо проще, чем задача декомпозиции [98]. Перейдем к описанию моделей страхования в многоэлементных системах.

Ожидаемая полезность i -го страхователя в отсутствие страхования может быть записана в виде³⁰:

$$E f_i(u) = c_i u_i - p_i(u) W_i, i \in Q. \quad (15)$$

В качестве концепции решения игры выберем равновесие Нэша [50]. По определению вектор u^* – равновесие Нэша тогда и только тогда, когда:

$$\forall i \in Q \quad \forall u_i \quad E f_i(u^*) \geq E f_i(u_i, u_{-i}), \quad (16)$$

где $u_{-i} = (u_1, u_2, \dots, u_{i-1}, u_{i+1}, \dots, u_n)$ – обстановка игры для i -го страхователя.

Если функция $p_i(\cdot)$ выпукла по u_i , то равновесие Нэша удовлетворяет следующей системе уравнений:

$$p'_{i_{y_i}}(u^*) = c_i / W_i, i \in Q. \quad (17)$$

Пример 3.6.4. Пусть $p_i(u) = \left(\sum_{j \in Q} \alpha_{ij} u_j \right)^2 / 2r$. Обозначим

$\delta_i = \beta_{0i} r / W_i \alpha_{ii}$, $i \in Q$. Тогда из (17) получаем, что равновесие Нэша определяется как решение системы линейных уравнений

$$\sum_{j \in Q} \alpha_{ij} u_{*j} = \delta_i, i \in Q. \quad (18)$$

Предположим, что имеются два страхователя, тогда, выбирая, например, численные значения $W_1 = W_2 = 1$, $r = 100$, $\beta_1 = 3 / 320$, $\beta_2 = 21 / 1600$, получаем: $u_{*1} = 1$, $u_{*2} = 2$, что приводит к следующим вероятностям наступления страховых случаев: $p_1(u^*) = 1 / 128$, $p_2(u^*) = 49 / 3200$. •

³⁰ Для простоты в настоящем разделе мы не будем акцентировать внимание на постоянных издержках, затратах на предупредительные мероприятия и т.д., считая, что единственной стратегией страхователя является выбор действий, а его ожидаемая полезность, помимо ожидаемых потерь и слагаемых, отражающих взаимодействие со страховщиком, определяется ожидаемой прибылью, которая зависит от дохода, пропорционального действию i -го страхователя.

Пусть нагрузка к нетто-ставке ξ_i или страховой тариф π_i для каждого страхователя зависит от вектора действий всех страхователей, то есть:

$$\xi_i(u) = \frac{\xi_{0i}(u) + p_i(u)}{1 + \xi} W_i, i \in Q, \quad (19)$$

$$\pi_i(u) = \frac{\pi_{0i}(u)}{1 + \xi} W_i, i \in Q. \quad (20)$$

Предположим, что требуется разработать механизм страхования, который побуждал бы страхователей выбирать тот же вектор действий, что и в отсутствие страхования (u^*) как равновесие Нэша. Тогда параметры страхового контракта должны, как минимум, удовлетворять следующим условиям:

$$\xi_{0i}(u^*) \leq \xi_i p_i(u^*), i \in Q, \quad (21)$$

$$\pi_{0i}(u^*) \leq (1 + \xi_i) p_i(u^*), i \in Q. \quad (22)$$

Подставляя выражения (19) и (20) в функции ожидаемых полезностей страхователей и дифференцируя по соответствующим действиям³¹, получим:

$$p'_{i_{u_i}}(u^*) + \xi'_{0i_{u_i}}(u^*) = (1 + \xi_i) \beta_{0i} / W_i, i \in Q, \quad (23)$$

$$\pi'_{0i_{u_i}}(u^*) = (1 + \xi_i) \beta_{0i} / W_i, i \in Q. \quad (24)$$

Утверждение 3.7. Использование страховых тарифов или нагрузок, удовлетворяющих следующим условиям:

$$\xi_{0i}(u) = \xi_i p_i(u), i \in Q, \quad (25)$$

$$\pi_{0i}(u) = (1 + \xi_i) p_i(u), i \in Q. \quad (26)$$

исключает моральный риск³².

Справедливость утверждения 3.7 обосновывается следующим образом: подставляя (25)-(26) в (23)-(24) и сравнивая с (17), получаем, что $u^* = u^*$.

Следующее утверждение является следствием общих результатов решения задач управления организационными системами, приведенных в [98].

Утверждение 3.8. а) При использовании механизма

³¹ Для обеспечения точки максимума можно потребовать, чтобы страховой тариф или сумма нагрузки и вероятности наступления страхового случая были у каждого страхователя выпуклы по его действию.

³² Использование управлений (25)-(26) при $u = u^*$ удовлетворяет (21)-(22).

$$\xi_{0i}(u) = \begin{cases} \xi_i p_i(u_i^*, u_{-i}), & u_i = u_i^*, \\ \xi_0^{max}, & u_i \neq u_i^*, \end{cases} i \in Q, \quad (27)$$

где $u_i^* = u_i^*$, а $\xi_0^{max} = \max_{i \in Q} \max_u \xi_i p_i(u)$, выбор i -м страхователем действия u_i^* является его доминантной стратегией;

б) При использовании механизма

$$\xi_{0i}(u) = \begin{cases} \xi_i p_i(u_i^*, u_{-i}^*), & u_i = u_i^*, \\ \xi_0^{max}, & u_i \neq u_i^*, \end{cases} i \in Q, \quad (28)$$

где $u^* = y^*$, а $\xi_0^{max} = \max_{i \in Q} \max_u \xi_i p_i(u)$, вектор u^* является равновесием

Нэша игры страхователей;

в) При использовании единой для всех страхователей нагрузки к нетто-ставке $\xi_0(u)$ или единого страхового тарифа $\pi_0(u)$ множество действий страхователей, реализуемых³³ страховщиком не шире, чем при использовании индивидуальных нагрузок или тарифов³⁴.

Проведем качественное обсуждение результатов утверждения 3.8. В соответствии с принципом декомпозиции игры управляемых субъектов [98], центр, используя механизм (27), предлагает каждому страхователю назначать значение соответствующей нагрузки исходя только из его собственных действий, независимо от действий других страхователей. Угроза использования в противном случае максимальной нагрузки ξ_0^{max} (невыгодной ни одному из страхователей) делает страхование выгодным для каждого из них и, более того, делает выгодным выбор действия u_i^* (выполнение неравенства (21) при этом обеспечивает выгодность страхования по сравнению с равновесными по Нэшу ожидаемыми выигрышами в отсутствие страхования).

Используя механизм (28), центр предлагает каждому страхователю назначать значение соответствующей нагрузки исходя из его собственных действий, предполагая, что остальные страхователи

³³ Напомним, что реализуемыми данной системой стимулирования называются действия, которые являются равновесными при этой системе стимулирования.

³⁴ Более того, при единых параметрах страховых контрактов исключение морального риска (см. утверждение 3.7) возможно не всегда. Чтобы убедиться в этом, достаточно в данных примера 3.6.4, выбрав, например, единую нагрузку равной линейной комбинации действий страхователей, получить противоречие с (21).

также выбрали рекомендованные центром действия, что приводит к более слабому, чем пункт а), результату – соответствующий вектор действий является уже не равновесием в доминантных стратегиях, а равновесием Нэша.

Пункт в) является следствием доказанной в [98] теоремы о том, что унифицированное управление не более эффективно, чем персонализированное. Этот результат почти очевиден – так как единые параметры страхового контракта являются частным случаем различных комбинаций параметров, то и эффективность страхования (с точки зрения его мотивационной роли) при этом не выше (кроме того, возможно противоречие с условиями (21)).

Отметим, что для использования механизмов (27) и (28) необходимо, чтобы порядок функционирования был таков, что *индивидуальные действия страхователей становятся известными страховщику до момента внесения страховых взносов* (иначе параметры страхового контракта не могут зависеть от действий страхователей).

В заключение настоящего раздела, следуя общей идеологии исследования механизмов функционирования систем с агрегированием информации [98], рассмотрим модель страхования, в которой страховщик не наблюдает индивидуальные действия страхователей, а имеет лишь информацию об агрегированном результате их деятельности.

Пусть вероятности наступления страховых случаев p_i зависят от агрегированного результата деятельности страхователей $l = G(u)$, наблюдаемого страховщиком и являющегося известной страховщику *функцией агрегирования* $G(\cdot)$ их индивидуальных действий.

Страховщик, решая систему уравнений

$$\frac{dp_i(l(u_*))}{dl} \frac{\partial G(u_*)}{\partial u_i} = \frac{\beta_{0i}}{W_i}, i \in Q, \quad (29)$$

может найти множество $E_N(l)$ равновесных по Нэшу векторов действий страхователей u_* и соответствующий агрегированный результат деятельности l_* . Следующий пример иллюстрирует, что равновесие Нэша в рассматриваемом классе задач существует не всегда.

Пример 3.6.5. Пусть $l = \sum_{i \in Q} u_i$, $p_i(l) = l^2 / 2 r_i$, $i \in Q$. Тогда в соответствии с (15) получаем: $\sum_{i \in Q} u_{i*} = \beta_{0i} r_i / W_i$, $i \in Q$, то есть при различных (не полностью совпадающих) страхователях найти равновесие Нэ-

ша из системы уравнений (29) невозможно. В подобных ситуациях, быть может, имеет смысл рассчитывать на то, что страхователи выберут одно из эффективных по Парето действий. Однако, множество Парето в задачах экологического страхования, как правило, достаточно «велико»³⁵ [98, 110], что не позволяет центру однозначно определить реализуемый вектор действий страхователей. •

Утверждение 3.9. Если для любого результата деятельности страхователей существует единственный, приводящий к данному результату, вектор равновесных по Нэшу действий, то при использовании механизма

$$\xi_{0i}(l) = \begin{cases} \xi_i p_i(u_i^*, u_{-i}^*), & l = l_*, \\ \xi_0^{max}, & l \neq l_*, \end{cases} i \in Q, \quad (30)$$

где $u^* \in E_N(l_*)$ удовлетворяет (21), а $\xi_0^{max} = \max_{i \in Q} \max_u \xi_i p_i(u)$, вектор u^* является равновесием Нэша игры страхователей.

Справедливость результата утверждения 3.9 следует из того, что, наблюдая только агрегированный результат деятельности, центр может (при условии, что данный результат является однозначным следствием выбора страхователями соответствующего равновесия Нэша) побудить страхователей стремиться достичь именно результата деятельности z_* , обещая при его достижении назначить параметры страховых контрактов, оптимальные при действиях $u_* = E_N(l_*)$.

В заключение настоящего раздела приведем пример, иллюстрирующий возможности использования предложенного подхода к выбору параметров страхового контракта в условиях ненаблюдаемых действий страхователей.

Пример 3.6.6. Пусть $l = \sum_{i \in Q} (u_i)^2$, $p_i(l) = l^2 / 4 r_i$, $i \in Q$. Тогда в соответствии с (29) получаем: $u_i^* l_* = \beta_{0i} r_i / W_i$, $i \in Q$. Возводя в квадрат и

³⁵ Одна из возможных содержательных (экологических) интерпретаций такова: существует предельный уровень суммарного воздействия на окружающую среду со стороны нескольких страхователей. Если каждый из них заинтересован, например, в максимизации собственного объема производства, а воздействие на окружающую среду растет с ростом объема производства, то множество Парето составят все такие вектора объемов выпуска, что суммарное воздействие равно пороговому.

суммируя по всем страхователям, вычисляем: $l_* = \left(\sum_{i \in Q} \left(\frac{\beta_{0i} r_i}{W_i} \right)^2 \right)^{1/3}$.

Тогда имеет место:

$$u_{i*} = (\beta_{0i} r_i / W_i) / \left(\sum_{i \in I} \left(\frac{\beta_{0i} r_i}{W_i} \right)^2 \right)^{1/3}, i \in Q,$$

то есть равновесие Нэша существует и единственно. Следовательно, результат утверждения 3.9 применим для рассматриваемой модели. •

В заключение отметим, что при рассмотрении роли страхования в комплексе экономических механизмов обеспечения безопасности на первый план выступает возможность его комплексного взаимодополняющего использования совместно с механизмами снижения риска. И такая возможность существует – как следует из результатов утверждений 3.6-3.9, если некоторый уровень риска уже был достигнут в отсутствие страхования (например, за счет применения других экономических механизмов), то возможна разработка механизма страхования, который не изменял бы стратегии поведения страхователя (включая выбираемые им действия и отчисления на предупредительные мероприятия), но компенсировал бы ущерб в случае возникновения неблагоприятных ситуаций.

3.7. МЕХАНИЗМЫ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ МОТИВАЦИИ

Механизмы мотивации побуждают управляемых агентов (предприятия региона) предпринимать определенные действия в интересах управляющего органа – центра. В настоящем разделе описаны механизмы экономической мотивации, в которых центр управляет предприятиями путем установления тех или иных нормативов – ставок налога с дохода, прибыли и т.д. [43]. Следует признать, что описываемая ниже модель несколько условна, так как, во-первых, в ней предполагается, что центр заинтересован, в первую очередь, в максимизации отчислений со стороны предприятий (которые могут быть направлены, например, на природоохранные мероприятия) и лишь во вторую очередь – в максимизации суммарного объема производства в регионе или суммы прибылей всех участников. Во-вторых, действующее российское законодательство не дает возможности органам государственного управления и

надзорным органам регионального уровня произвольным образом изменять «систему налогообложения».

Пусть в регионе имеются n предприятий, и известны затраты $z_i(u_i)$ i -го предприятия, зависящие от его действия $u_i \geq 0$ (например, от объема выпускаемой агентом продукции), $i \in Q = \{1, 2, \dots, n\}$ – множеству предприятий. Будем считать функцию затрат непрерывной, возрастающей, выпуклой и равной нулю в нуле. Целевая функция i -го предприятия представляет собой разность между его доходом $H_i(u_i)$ и затратами $z_i(u_i)$: $f_i(u_i) = H_i(u_i) - z_i(u_i)$, $i \in Q$. Пусть функции затрат предприятий имеют вид: $z_i(u_i) = r_i \vartheta(u_i/r_i)$, $i \in Q$, где $\vartheta(\cdot)$ – возрастающая гладкая выпуклая функция, такая, что $\vartheta(0) = 0$. Обозначим $\varpi(\cdot) = \vartheta'^{-1}(\cdot)$ – функцию, обратную производной функции $\vartheta(\cdot)$.

Рассмотрим четыре механизма экономической мотивации предприятий, а именно:

- 1) механизм отчислений («налог с дохода»);
- 2) централизованный механизм;
- 3) механизм с нормативом рентабельности;
- 4) механизм «налога на прибыль».

Механизм отчислений (налог с дохода). Пусть задана цена c единицы продукции, производимой предприятиями, и центр использует *норматив*³⁶ $\gamma \in [0; 1]$ отчислений от дохода предприятий. Тогда доход агента $H_i(u_i) = c u_i$ и целевая функция i -го предприятия с учетом отчислений центру имеет вид:

$$f_i(u_i) = (1 - \gamma) c u_i - z_i(u_i), \quad i \in Q. \quad (1)$$

Величина γ – норматив отчислений – может интерпретироваться как ставка налога на доход (выручку). Каждое предприятие выберет действие, максимизирующее его целевую функцию:

$$u_i(\gamma) = r_i \varpi((1 - \gamma) c), \quad i \in Q. \quad (2)$$

Целевая функция центра, равная сумме отчислений предприятий, будет иметь вид:

$$\Phi(\gamma) = \gamma c H \varpi((1 - \gamma) c), \quad (3)$$

где $H = \sum_{i \in Q} r_i$.

Задача центра, стремящегося максимизировать свою целевую функцию, заключается в выборе норматива отчислений:

³⁶ Легко проверить, что в рамках введенных предположений оптимально использование единого норматива для всех агентов.

$$\Phi(\gamma) \rightarrow \max_{\gamma \in [0;1]} . \quad (4)$$

Если функции затрат предприятий являются функциями типа Кобба-Дугласа, то есть $z_i(u_i) = \frac{1}{\alpha} (u_i)^\alpha (r_i)^{1-\alpha}$, $\alpha \geq 1$, $i \in Q$, то решение задачи (4) имеет вид:

$$\gamma^*(\alpha) = 1 - 1/\alpha, \quad (5)$$

то есть оптимальное значение норматива отчислений $\gamma^*(\alpha)$ возрастает с ростом показателя степени α . Оптимальное значение целевой функции центра при этом равно $\Phi_\gamma = \frac{\alpha-1}{\alpha} c H \vartheta(\lambda/\alpha)$, то есть

$\Phi_\gamma = (\alpha - 1) H (\frac{c}{\alpha})^{\alpha/(\alpha-1)}$, а сумма действий предприятий:

$$U_\gamma = H \vartheta(\lambda/\alpha) = H (\lambda/\alpha)^{1/(\alpha-1)}.$$

Выигрыш i -го предприятия: $f_{i\gamma} = r_i (1 - 1/\alpha) (\lambda/\alpha)^{\alpha/(\alpha-1)}$, а сумма целевых функций всех участников системы (центра и всех предприятий) равна: $F_\gamma = (\alpha^2 - 1) H (\lambda/\alpha)^{\alpha/(\alpha-1)}/\alpha$.

Централизованный механизм. Сравним найденные показатели со значениями, соответствующими другой схеме экономической мотивации предприятий, а именно предположим, что центр использует *централизованную схему* – «забирает» себе весь доход от деятельности предприятий, а затем компенсирует им затраты от выбираемых ими действий u_i в случае выполнения плановых заданий (компенсаторная система стимулирования [98]).

В этом случае целевая функция центра равна:

$$\Phi(u) = c \sum_{i \in Q} u_i - \sum_{i \in Q} z_i(u_i). \quad (6)$$

Решая задачу $\Phi(u) \rightarrow \max_{\{u_i \geq 0\}}$, центр находит оптимальные значения планов:

$$u_i = r_i \varpi(c), i \in Q. \quad (7)$$

Оптимальное значение целевой функции центра при функциях затрат предприятий типа Кобба-Дугласа равно $\Phi_x = c^{\alpha/(\alpha-1)} H (1 - 1/\alpha)$, а сумма действий предприятий равна $U_x = H \varpi(c) = H c^{1/(\alpha-1)}$.

Выигрыш i -го предприятия тождественно равен нулю, так как центр в точности компенсирует его затраты, а сумма целевых функций всех участников системы F_x (центра и всех предприятий) равна Φ_x . Сравним полученные значения: $\Phi_x/\Phi_\gamma = \frac{1}{\alpha^{\alpha-1}} \geq 1$ и убы-

вадет с ростом α ; $U_x/U_y = \alpha^{\frac{1}{\alpha-1}} \geq 1$ и убывает с ростом α ; $F_x/F_y = \alpha^{\frac{\alpha}{\alpha-1}} / (\alpha + 1) \geq 1$ и убывает с ростом α .

Таким образом, если предприятия имеют функции затрат типа Кобба-Дугласа, то централизованный механизм экономической мотивации (с точки зрения ЭкЭС в целом) выгоднее, чем механизм отчислений, так как обеспечивает больший суммарный выпуск продукции, большее значение суммарной полезности всех элементов системы и большее значение отчислений на природоохранные мероприятия.

Фраза «с точки зрения ЭкЭС в целом» существенна, так как при использовании централизованного механизма прибыль (значение целевой функции) предприятий равна нулю – весь ресурс изымает «метасистема». Такая схема взаимодействия центра с предприятиями может не устраивать предприятия или быть нереализуема в рамках существующих институциональных ограничений, поэтому исследуем обобщение централизованной схемы, а именно *механизм с нормативом рентабельности*, при котором вознаграждение предприятия центром не только компенсирует его затраты в случае выполнения плана, но и оставляет в его распоряжении полезность, пропорциональную затратам. Коэффициент этой пропорциональности условно называется *нормативом рентабельности*. Рассмотренной выше централизованной схеме соответствует нулевое значение норматива рентабельности.

Механизм с нормативом рентабельности. В случае использования норматива рентабельности $\rho \geq 0$ целевая функция центра равна:

$$\Phi_{\rho}(u) = c \sum_{i \in Q} u_i - (1 + \rho) \sum_{i \in Q} z_i(u_i). \quad (8)$$

Решая задачу $\Phi_{\rho}(u) \rightarrow \max_{\{u_i \geq 0\}}$, центр находит оптимальные значения планов:

$$u_{i\rho} = r_i \max_{\{u_i \geq 0\}} \varpi(c / (1 + \rho)), i \in Q. \quad (9)$$

Оптимальное значение целевой функции центра при функциях затрат предприятий типа Кобба-Дугласа равно: $\Phi_{\rho} = c (c / (1 + \rho))^{1/(\alpha-1)} H (1 - 1 / \alpha)$, а сумма действий предприятий равна: $U_{\rho} = H \varpi(c / (1 + \rho)) = H (c / (1 + \rho))^{1/(\alpha-1)}$.

Выигрыш i -го предприятия равен: $f_{ip} = \rho r_i (c/(1+\rho))^{\alpha/(\alpha-1)}/\alpha$, а сумма целевых функций всех участников системы (центра и всех предприятий) равна: $F_p = cH(c/(1+\rho))^{1/(\alpha-1)}(\alpha-1/(1+\rho))/\alpha$.

Сравним полученные значения (отметим, что при $\rho = 0$ все выражения для механизма с нормативом рентабельности переходят в соответствующие выражения для централизованного механизма):

$$\begin{aligned}\Phi_x/\Phi_p &= (1+\rho)^{\frac{1}{\alpha-1}} \geq 1 \quad \text{и} \quad \text{возрастает с ростом } \rho; \\ U_x/U_p &= (1+\rho)^{\frac{1}{\alpha-1}} \geq 1 \quad \text{и} \quad \text{возрастает с ростом } \rho; \\ F_x/F_p &= \frac{(1-\frac{1}{\alpha})(1+\rho)^{\frac{1}{\alpha-1}}}{1-\frac{1}{(1+\rho)\alpha}} \geq 1 \text{ и возрастает с ростом } \rho.\end{aligned}$$

Интересно, что максимум суммы целевых функций участников системы (центра и предприятий) достигается при нулевом нормативе рентабельности, то есть в условиях полной централизации!

Сравним теперь механизм с нормативом рентабельности с механизмом отчислений:

$$\Phi_\gamma/\Phi_p = (\frac{1+\rho}{\alpha})^{\frac{1}{\alpha-1}} \text{ и возрастает с ростом } \rho; \quad U_\gamma/U_p = (\frac{1+\rho}{\alpha})^{\frac{1}{\alpha-1}} \text{ и возрастает с ростом } \rho;$$

$$F_\gamma/F_p = \frac{(\alpha^2-1)}{\alpha^2 - \frac{\alpha}{(1+\rho)}} (\frac{1+\rho}{\alpha})^{\frac{1}{\alpha-1}} \text{ и возрастает с ростом } \rho.$$

Итак, приходим к выводу, что если предприятия имеют функции затрат типа Кобба-Дугласа, то механизм с нормативом рентабельности $\rho = \alpha - 1$ эквивалентен механизму отчислений.

Справедливость данного утверждения следует из того, что при $\rho = \alpha - 1$ все (!) показатели механизма с нормативом рентабельности совпадают с соответствующими показателями механизма отчислений, то есть выполняется $u_i(\gamma) = u_{ip}$, $i \in Q$, $\Phi_\gamma = \Phi_p$, $U_\gamma = U_p$, $f_{i\gamma} = f_{ip}$, $i \in Q$, $F_\gamma = F_p$.

Теперь рассмотрим четвертый механизм экономической мотивации – механизм налога на прибыль.

Механизм налога на прибыль. Если в качестве прибыли предприятия взять его целевую функцию – разность между доходом и затратами, то при ставке налога $\beta \in [0; 1]$ на эту прибыль целевая функция i -го предприятия примет вид:

$$f_{i\beta}(u_i) = (1 - \beta) [c u_i - z_i(u_i)], i \in Q, \quad (10)$$

а целевая функция центра:

$$\Phi_\beta(u) = \beta [c \sum_{i \in Q} u_i - \sum_{i \in Q} z_i(u_i)]. \quad (11)$$

Действия, выбираемые предприятиями при использовании налога на прибыль, совпадают с действиями, выбираемыми ими при централизованной схеме, следовательно:

$$u_{i\beta} = r_i \varpi(c), i \in Q. \quad (12)$$

Оптимальное значение целевой функции центра при функциях затрат предприятий типа Кобба-Дугласа равно $\Phi_\beta = \beta c^{\alpha/(\alpha-1)} H (1 - 1/\alpha)$, а сумма действий предприятий: $U_\beta = H \varpi(c) = H c^{1/(\alpha-1)}$ ³⁷. Выигрыш i -го предприятия равен: $f_{i\beta} = (1 - \beta) c^{\alpha/(\alpha-1)} r_i (1 - 1/\alpha)$, а сумма целевых функций всех участников системы (центра и всех предприятий): $F_\beta = c^{\alpha/(\alpha-1)} H (1 - 1/\alpha)$. Сравним полученные значения: $\Phi_x/\Phi_\beta = 1/\beta \geq 1$ и возрастает с ростом β ; $U_x/U_\beta = 1$; $F_x/F_\beta = 1$. Таким образом, механизм налога на прибыль приводит к той же сумме полезностей и к тому же значению суммы равновесных действий предприятий, что и централизованный механизм, но в первом случае полезность центра в β раз ниже, чем во втором. Поэтому механизм налога на прибыль может интерпретироваться как механизм компромисса [98], в котором *точка компромисса* определяется ставкой налога на прибыль, задающей пропорцию, в которой делится прибыль системы в целом между центром и предприятиями.

Сравним механизм налога на прибыль с механизмом с нормативом рентабельности: $\Phi_\beta/\Phi_\rho = \beta (1 + \rho)^{\frac{1}{\alpha-1}}$; $U_\beta/U_\rho = (1 + \rho)^{\frac{1}{\alpha-1}} \geq 1$;

$$F_\beta/F_\rho = \frac{(1 - \frac{1}{\alpha})(1 + \rho)^{\frac{1}{\alpha-1}}}{1 - \frac{1}{(1 + \rho)\alpha}} \geq 1.$$

И, наконец, сравним механизм налога на прибыль с механизмом отчислений (механизмом налога с дохода): $\Phi_\beta/\Phi_\gamma = \beta \alpha^{\frac{1}{\alpha-1}}$; $U_\beta/U_\gamma = \alpha^{\frac{1}{\alpha-1}}$; $F_\beta/F_\gamma = \alpha^{\frac{\alpha}{\alpha-1}} / (\alpha + 1)$.

³⁷ Очевидно, что оптимальное с точки зрения центра значение ставки налога на прибыль β равно единице. При этом механизм налога на прибыль превращается в централизованный механизм.

Проведенный анализ позволяет сделать следующий вывод: если предприятия имеют функции затрат типа Кобба-Дугласа, то механизм налога на прибыль:

- при $\beta = 1 / \alpha^{\frac{1}{\alpha-1}}$ с точки зрения центра эквивалентен оптимальному механизму отчислений;

- при $\beta = 1 - 1 / \alpha^{\frac{\alpha}{\alpha-1}}$ с точки зрения предприятий эквивалентен оптимальному механизму отчислений;

- при $\beta = 1 / (1 + \rho)^{\frac{1}{\alpha-1}}$ с точки зрения центра эквивалентен механизму с нормативом рентабельности;

- при $\beta = 1 - \rho / (\alpha - 1) (1 + \rho)^{\frac{\alpha}{\alpha-1}}$ с точки зрения предприятий эквивалентен механизму с нормативом рентабельности.

Сравнительный анализ. Таким образом, рассмотрены четыре механизма экономической мотивации. С точки зрения суммы полезностей всех участников системы и суммы действий предприятий максимальной эффективностью обладают централизованный механизм и механизм налога на прибыль (с любой ставкой). Использование механизма отчислений или механизма с нормативом рентабельности приводит к меньшей эффективности.

При использовании механизма отчислений, механизма с нормативом рентабельности или механизма налога на прибыль в зависимости от параметров (соответственно – норматива отчислений, норматива рентабельности и ставки налога на прибыль) полезности центра и предприятий перераспределяются по-разному по сравнению с централизованным механизмом (см. приведенные выше оценки).

Использование полученных результатов позволяет в каждом конкретном случае получать оценки параметров, при которых различные механизмы эквивалентны. Так, например, при квадратичных функциях затрат ($\alpha = 2$) оптимально следующее значение норматива отчислений (ставки налога с дохода): $\gamma^* = 0,5$. При $\rho^* = 1$ механизм с нормативом рентабельности полностью эквивалентен механизму отчислений, а при $\beta^* = 0,5$ механизм налога на прибыль эквивалентен им обоим с точки зрения центра, а при $\beta^* = 0,75$ – с точки зрения предприятий (см. табл. 4.13).

Т а б л и ц а 4.13. Параметры механизмов экономической мотивации при квадратичных затратах предприятий

Механизм	Параметры			
	Φ	U	F	f_i
Налог с дохода	$c^2H/4$	$cH/2$	$3c^2H/8$	$c^2H/8$
Централизованный	$c^2H/2$	cH	$c^2H/2$	0
Норматив рентабельности	$c^2H/(2(1+\rho))$	$cH/(1+\rho)$	$c^2H(1+2\rho)/(2(1+\rho)^2)$	$\lambda^2H\rho/(2(1+\rho)^2)$
Налог на прибыль	$\beta c^2H/2$	cH	$c^2H/2$	$(1-\beta)c^2H/2$

3.8. МЕХАНИЗМЫ СОГЛАСОВАНИЯ ИНТЕРЕСОВ ОРГАНОВ УПРАВЛЕНИЯ

Специфической чертой ЭкЭС является подчиненность одного и того же агента (например, предприятия) одновременно нескольким центрам одного уровня иерархии, функции которых могут быть различными (координирующая, обеспечивающая, контролирующая и т.д.). Необходимость согласования интересов органов управления неизбежно приходится учитывать при разработке региональных программ. Типовым примером [46, 109] являются органы территориального управления и органы отраслевого управления.

В таких структурах, называемых *матричными структурами управления* (МСУ), центры, осуществляющие управление предприятием, оказываются вовлеченными в «игру», равновесие в которой имеет достаточно сложный вид. В частности, как показывают результаты анализа МСУ [40, 51, 57, 98, 99], можно выделить два устойчивых режима взаимодействия центров – режим сотрудничества и режим конкуренции.

В *режиме сотрудничества* центры действуют совместно, что позволяет добиваться требуемых результатов деятельности управляемого предприятия с использованием минимального количества ресурсов.

В *режиме конкуренции*, который возникает, если цели центров различаются достаточно сильно, ресурсы расходуются неэффективно.

Пусть ЭкЭС состоит из одного предприятия и k центров. Стратегией предприятия является выбор объема производства $u \geq 0$ и уровня безопасности $y \geq 0$, что требует от него затрат $z(u)$ и $\phi(y)$ соответственно. Каждый центр получает от деятельности предпри-

ятия «доход», описываемый функцией $H_i(u, y)$, и выплачивает предприятию стимулирование $\sigma_i(u, y)$, $i \in K = \{1, 2, \dots, k\}$ – множеству центров. Таким образом, целевая функция i -го центра имеет вид

$$\Phi_i(\sigma_i(\cdot), u, y) = H_i(u, y) - \sigma_i(u, y), i \in K, \quad (1)$$

а целевая функция предприятия:

$$f(\{\sigma_i(\cdot)\}, u, y) = c u + \sum_{i \in K} \sigma_i(u, y) - z(u) - \varphi(y). \quad (2)$$

Порядок функционирования следующий: центры одновременно и независимо выбирают функции стимулирования и сообщают их предприятию, которое затем выбирает свое действие. Ограничимся рассмотрением множества Парето-эффективных равновесий Нэша игры центров, в которых, как показано в [57, 99], их стратегии имеют вид

$$\sigma_i(u', u, x, y) = \begin{cases} V_i, & y = x, u = u' \\ 0, & y \neq x \text{ или } u \neq u' \end{cases}, i \in K. \quad (3)$$

Содержательно, центры договариваются о том, что будут побуждать предприятие выбирать объем производства u' и достигать уровня безопасности x и осуществлять совместное стимулирование. Такой режим взаимодействия центров называется *режимом сотрудничества*.

Обозначим $u^* = \arg \max_{u \geq 0} [c u - z(u)]$. Если $\varphi(\cdot)$ – неубывающая функция, то из условий оптимальности по Парето следует, что сумма вознаграждений, получаемых предприятием от центров в случае выполнения их рекомендаций, равна

$$\sum_{i \in K} V_i = c (u^* - u') - [z(u^*) - z(u')] + \varphi(x). \quad (4)$$

Условие выгоды сотрудничества для каждого из центров можно сформулировать следующим образом: в режиме сотрудничества каждый центр должен получить полезность не меньшую, чем он мог бы получить, осуществляя стимулирование предприятия в одиночку. Полезность i -го центра от «самостоятельного» взаимодействия с предприятием равна

$$\Phi_i^* = \max_{u, y \geq 0} [H_i(u, y) - c (u^* - u) + [z(u^*) - z(u)] - \varphi(y)], i \in K. \quad (5)$$

Обозначим $V = (V_1, V_2, \dots, V_k)$,

$$S = \{u \geq 0, y \geq 0 \mid \exists V \in \mathbb{R}_+^k: H_i(u, y) - V_i \geq \Phi_i^*, i \in K,$$

$$\sum_{i \in K} V_i = c(u^* - u) - [z(u^*) - z(u)] + \varphi(y) \quad (6)$$

– множество таких действий предприятия, для реализации которых сотрудничество выгодно для центров.

Совокупность (u, y) и соответствующих векторов V называется *областью компромисса*:

$$\Lambda = \{u \geq 0, y \geq 0, V \in \mathcal{R}_+^k \mid H_i(u, y) - V_i \geq \Phi_i^*, i \in K, \sum_{i \in K} V_i = c(u^* - u) - [z(u^*) - z(u)] + \varphi(y)\}. \quad (7)$$

Режим сотрудничества по определению имеет место, если область компромисса не пуста: $\Lambda \neq \emptyset$.

Обозначим

$$\Phi_0^* = \max_{u, y \geq 0} [\sum_{i \in K} H_i(u, y) - c(u^* - u) + [z(u^*) - z(u)] - \varphi(y)]. \quad (8)$$

По аналогии с тем, как это делается в [99], можно доказать следующее утверждение.

Утверждение 3.10. Область компромисса не пуста тогда и только тогда, когда:

$$\Phi_0^* \geq \sum_{i \in K} \Phi_i^*. \quad (9)$$

Таким образом, критерием реализуемости режима сотрудничества является условие (9). Содержательно оно означает, что, действуя совместно, центры могут получить бóльшую суммарную полезность, чем действуя в одиночку. Разность $\Phi_0^* - \sum_{i \in K} \Phi_i^*$ может ин-

терпретироваться как мера согласованности интересов центров и характеристика *эмерджентности* ЭкЭС.

Если условие (9) не выполнено и $\Lambda = \emptyset$, то имеет место *режим конкуренции* центров, характеризуемый так называемым аукционным решением. Упорядочим (перенумеруем) центров в порядке убывания величин $\{\Phi_i^*\}$: $\Phi_1^* \geq \Phi_2^* \geq \dots \geq \Phi_k^*$. Победителем будет первый центр, который предложит предприятию, помимо компенсации отклонения от выигрыша $c u^* - z(u^*)$, полезность, на сколько угодно малую величину превышающую Φ_2^* .

Обсудим качественно полученные результаты. Одним из недостатков МСУ является то, что при недостаточном разделении полномочий между центрами возможен конфликт между ними, когда они стремятся «перетянуть» на себя находящиеся под их общим контролем агентов. При этом ЭкЭС теряет в эффективности функ-

ционирования, так как на такое «борьбу» агентов могут уходить весьма существенные средства.

Сотрудничество центров – совместное назначение планов и использование согласованной системы стимулирования агентов (3) – позволяют избежать подобного конфликта и неэффективности. Переход от режима конкуренции к режиму сотрудничества требует согласования интересов центров, что может осуществляться управляющими органами более высоких уровней иерархии в рамках так называемых *ромбовидных структур* [46, 99, 109, 135].

Приведем пример, иллюстрирующий результат утверждения 3.10. Пусть $k = 2$, $\varphi(y) = y$, $z(u) = u^2 / 2$, $c = 1$, $H_1(u, y) = u$, $H_2(u, y) = 2y - y^2 / 2 r_y$, то есть имеются два управляющих органа – отраслевой (заинтересован только в росте объема производства) и территориальный (заинтересован только в значении УБ, равном r_y).

Предприятие, имеющее целевую функцию $u - u^2 / 2 - y$, в отсутствие управления не будет обращать внимание на безопасность, то есть выберет $(u^*, v^*) = (1; 0)$, получив при этом выигрыш, равный $1/2$. Первый управляющий орган заинтересован в выборе предприятием объема производства и УБ, равных 2 и 0 соответственно. Взаимодействуя с предприятием в-одиночку, он может получить выигрыш $\Phi_1^* = 3/2$. Второй управляющий орган заинтересован в выборе предприятием объема производства и УБ, равных 0 и r_y соответственно. Взаимодействуя с предприятием в-одиночку, он может получить выигрыш $\Phi_2^* = r_y / 2$.

Максимум правой части выражения (8) достигается при объеме производства и УБ, равных соответственно $(2; r_y)$. При этом $\Phi_0^* = 3/2 + r_y / 2$, то есть (9) выполняется как равенство. Следовательно, область компромисса не пуста и сотрудничество между органами управления возможно.

Записав систему неравенств (7):
$$\begin{cases} V_1 \leq 1/2, \\ V_2 \leq r_y / 2, \\ V_1 + V_2 \geq (1 + r_y) / 2, \end{cases} \quad \text{получаем, что}$$

область компромисса состоит из единственной точки: $u' = 2$, $x = r_y$, $V_1 = 1/2$, $V_2 = r_y / 2$. Характеристика эмерджентности такой ЭкЭС равна нулю.

Специфический вид области компромисса в рассматриваемом примере обусловлен тем, что интересы управляющих органов лежат «в разных плоскостях» – отраслевой орган управления не инте-

ресует значение уровня безопасности, а территориальный орган – значение объема производства. Для того чтобы уйти от этой вырожденной и вряд ли соответствующей практике ситуации, предположим, что территориальный орган управления заинтересован и в производстве, то есть примем, что его функция дохода равна $H_2(u, y) = 2uy - y^2/2r_y$. Такой переход может быть осуществлен, например, вмешательством органа управления (ОУ) более высокого уровня иерархии в рамках соответствующей ромбовидной структуры – см. рис. 4.38.



Рис. 4.36. Ромбовидная структура

Тогда второй управляющий орган заинтересован в выборе предприятием объема производства и УБ, равных $\frac{1-2r_y}{1-4r_y}$ и $\frac{r_y}{1-4r_y}$ соответственно. Взаимодействуя с предприятием в-одиночку, он может получить выигрыш $\Phi_2^* = \frac{r_y(1-10r_y)}{(1-4r_y)^2}$. Выберем $r_y = 0,1$. Тогда

$\Phi_2^* = 0$. Максимум правой части выражения (8) достигается при объеме производства и УБ, равных 3 и 0,5 соответственно. При этом $\Phi_0^* = 9/4$, то есть (9) выполняется как строгое неравенство. Следовательно, область компромисса не пуста и сотрудничество между органами управления возможно.

Записав систему неравенств (7):
$$\begin{cases} V_1 \leq 3/2, \\ V_2 \leq 7/4, \\ V_1 + V_2 \geq 5/2, \end{cases}$$
 получаем, что при

$u' = 3$, $x = 0,5$, область компромисса состоит из множества точек, заштрихованного на рис. 4.39. Характеристика эмерджентности такой ЭкЭС равна $\Phi_0^* - (\Phi_1^* + \Phi_2^*) = 3/4 > 0$.

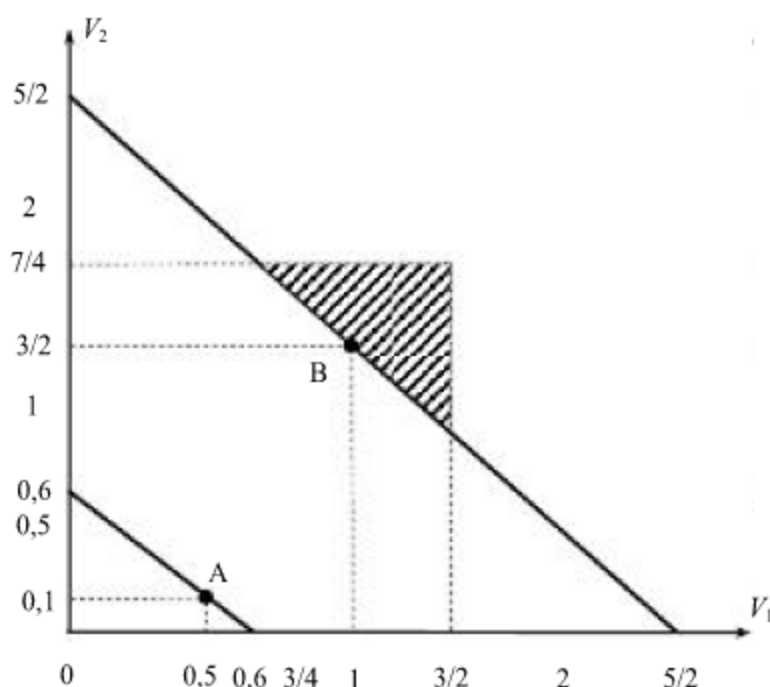


Рис. 4.39. Область компромисса

Таким образом, использование механизма согласования интересов управляющих органов в ЭкЭС позволяет обеспечить баланс их интересов и интересов предприятий, и, кроме того, в случае грамотного воздействия на интересы – повысить эффективность функционирования системы в целом. Действительно, в рассмотренном примере добавление заинтересованности второго управляющего органа в росте объема производства позволяет перейти из точки А (см. рис. 4.39), например, в точку В, которая строго доминирует первую по всем критериям (объем производства растет, уровень безопасности увеличивается, выигрыши управляющих органов растут) – см. табл. 4.14, кроме равенства выигрышей предприятия.

Т а б л и ц а 4.14. Сравнение двух механизмов согласования интересов

«Точка равновесия» (см. рис. 4.38)	u	y	ϕ_1	ϕ_2	f
А	2	0,1	3/2	0,05	1/2
В	3	0,5	2	0,25	1/2

ГЛАВА 4. ИМИТАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ МЕХАНИЗМОВ УПРАВЛЕНИЯ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

Если вторая и третья главы посвящены «теоретическому» исследованию механизмов управления эколого-экономическими системами, то в настоящей главе приводятся результаты «экспериментов» – деловых и имитационных игр. В разделе 4.1 проводится качественное обсуждение игрового моделирования как метода исследования механизмов управления безопасностью. Разделы 4.2-4.6 содержат описание подготовки и результатов проведения деловых игр, соответственно, для механизмов платы за риск, стимулирования снижения риска, финансирования снижения уровня риска, компенсации затрат на снижение уровня риска, продажи квот на уровень риска.

4.1. ИГРОВОЕ ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ УПРАВЛЕНИЯ

Экспериментальный метод исследований в таких науках как физика, химия, биология широко известен. К настоящему времени в них уже накоплен огромный опыт по организации *экспериментов*. В распоряжении экспериментаторов имеются тщательно разработанные и прошедшие проверку на практике принципы планирования эксперимента и методы обработки его результатов. В области управления сложными социально-экономическими, эколого-экономическими, организационными системами, к которым и относятся вопросы разработки экономических механизмов обеспечения безопасности, подобного опыта применения экспериментов не существует, хотя проведение различных учений и тренировок персонала для приобретения навыков работы в новых условиях практикуется уже довольно давно.

В первую очередь, сюда можно отнести всевозможные военные учения и маневры [180]. Для их проведения создавались соответствующие ситуации, которые в той или иной степени отражали возможную боевую обстановку. В этих искусственно созданных ситуациях участники учений и маневров осваивали приемы боя, приобретали опыт ведения боевых действий.

Аналогичным путем шло развитие *аварийных игр* [87, 108], в которых участники отрабатывали свои действия в случае возникновения нештатных ситуаций на промышленных предприятиях.

Следующим шагом в развитии игрового моделирования в военной области стала организация и проведение *штабных учений*. При организации штабных учений или штабных игр широко применялись модели, разработанные с помощью карт и планов, которые являются удобным средством моделирования. Таким образом, военные игры, с одной стороны, предназначены для обучения военнослужащих оперативному реагированию на внезапно возникающие и быстро меняющиеся ситуации, а с другой стороны, для приобретения навыков разработки и реализации крупномасштабных операций.

Расширение области применения военных игр, в конечном счете, привело к тому, что военная проблематика стала захватывать и чисто экономические вопросы. Так, в 1955 году сотрудниками американской фирмы «Rand Corporation» была разработана первая игра с применением ЭВМ. Цель игры заключалась в ознакомлении и обучении офицеров службы материально-технического обеспечения американского военно-воздушного флота вопросам управления снабжением запасными частями военно-воздушных баз США.

В 1956 г. представители American Management Association (АМА) изучили опыт военных игр и разработали имитационную игру, моделирующую процесс принятия решений высшим руководством фирмы [178].

Бурное развитие вычислительной техники и, особенно, средств моделирования, привело к тому, что применение игровых математических моделей для решения стратегических, экономических, финансовых и других задач получило широкое распространение.

Эффективным средством проверки свойств организационных и экономических механизмов, в том числе – механизмов обеспечения безопасности [113], является метод деловых имитационных игр [20, 21, 54, 156].

Применение игрового имитационного моделирования при разработке механизмов обеспечения безопасности позволяет осуществлять экспериментальную проверку теоретических результатов и практических предложений по созданию новых и совершенствованию существующих механизмов. Кроме того, игровой подход позволяет практическим работникам получить определенное пред-

ставление о новых экономических механизмах и приобрести некоторый опыт их применения. Следовательно, игровое имитационное моделирование можно рассматривать и как метод экспериментального исследования, и как инструмент обучения.

При проведении *имитационной игры* исследуется функционирование моделируемой системы в течение определенного периода времени. В игровой интерпретации отдельный период функционирования системы рассматривается как одна партия, при этом предполагается, что механизм функционирования определен и не меняется при переходе от одного периода к другому.

При проведении имитационных игр, функции активных элементов, связанные с принятием решений, выполняют игроки. Каждая партия имитационной игры, как и большинство игр, связанных с анализом организационных и экономических механизмов, проводится в три этапа: сбора данных; планирования и реализации.

На этапе сбора данных ведущему игры сообщается запрашиваемая информация, на этапе планирования на основе полученной информации формируется управленческое решение и, наконец, на этапе реализации определяются значения целевых функций игроков (их выигрыши).

Отметим важное направление, связанное с применением имитационных игр, как в исследовательских целях, так и в целях обучения. Это *игры с участием автоматов (artificial players or robots)*. В таких играх часть участников игры заменяются *автоматами* (под автоматом понимается специальная программа, в которой реализован алгоритм поведения лица, принимающего решения) с формализованными процедурами принятия решений. Можно утверждать, что замена реального игрока на искусственного представляет собой попытку построить модель поведения человека. Эта модель включает в себя основные параметры, характеризующие индивидов, и, прежде всего, мотивы экономической активности, ее цели и средства достижения этих целей.

Естественно, что имитация многообразия человеческой личности, ее неповторимой индивидуальности, разнообразных мотивов ее деятельности – задача в полном объеме практически неразрешима. Однако в данном случае проблема значительно упрощается, так как формализуется главным образом то, что объясняет экономическое поведение людей в различных хозяйственных ситуациях.

Как отмечается в [3, 50, 59, 100], среди многочисленных подходов к моделированию экономического поведения человека условно можно выделить несколько основных направлений. В первом направлении экономическое поведение людей в рамках модели «человека экономического» или *«homo economicus»* предполагает использование постулата о *рациональном поведении человека*. В его основе лежит стремление индивидуума получить максимальный результат при минимальных затратах в условиях ограниченности используемых возможностей и ресурсов. Модели человека в рамках второго направления включают в себя стремление не только к материальным благам, но и определенные элементы психологического характера – милосердие, цели, связанные с традициями, соображениями престижа, использованием свободного времени и т.д. Для третьего направления характерно изменение мотивации деятельности в направлении возрастания значения тех или иных составляющих, которые обеспечивают реализацию не столько материальных, сколько духовных потребностей личности.

Анализ перечисленных направлений моделирования экономического поведения человека позволяет сделать вывод, что стремление человека минимизировать свои затраты и максимизировать выгоду явно просматривается во всех подходах к моделированию человеческой деятельности. Отсюда можно выдвинуть гипотезу, что принцип рационального экономического поведения является универсальным экономическим принципом при моделировании «человека экономического». И именно этот принцип обычно закладывается в основу формальных моделей процедур принятия решений в алгоритмах поведения автоматов.

Необходимость проведения игр с автоматами проявляется в тех случаях, когда необходимо провести исследование функционирования системы с большим числом элементов (проведение соответствующей игры с большим числом участников нереально) или когда необходимо провести значительное число партий для исследования динамики игры или для получения статистически значимой оценки результатов. Это связано с тем, что «быстродействие» реальной имитационной игры принципиально ограничено временем принятия решения человеком (порядка одной минуты в простейших играх). Игры автоматов позволяют значительно сократить продолжительность одной партии.

Автоматы, используемые в игровых моделях для анализа функционирования сложных систем, программируются на основании некоторых гипотез о поведении людей в моделируемой ситуации. Сами гипотезы формируются на основе анализа стратегий реальных игроков в имитационной игре и эти гипотезы можно, в свою очередь, проверить при проведении имитационной игры.

Алгоритм выбора решений автоматом, который используется во многих имитационных играх, в том числе – в описываемых ниже, основывается на *гипотезе индикаторного поведения* [72, 106].

Если считать, что в каждой партии выбор u_i i -м игроком определяет его движение в сторону цели, то процедура, реализующая гипотезу индикаторного поведения, может быть представлена в виде

$$\begin{aligned} u_i^{k+1} &= u_i^k + \gamma_i^k (\tilde{u}_i^k - u_i^k), \\ \gamma_i^k &\in [0;1], \end{aligned} \quad (1)$$

где u_i^{k+1} – состояние i -го автомата в $k+1$ -й партии игры, \tilde{u}_i^k – положение цели i -го автомата в k -й партии, $i \in Q = \{1, 2, \dots, n\}$ – множеству игроков, $k = 1, 2, \dots$.

Другими словами, это то состояние, которое обеспечивает i -у автомату максимальное или минимальное (в зависимости от задачи) значение его целевой функции в k -й партии игры. Значение γ_i^k определяет величину шага в сторону цели. Конкретное значение γ_i^k может зависеть от времени, текущего состояния и некоторых других факторов, внешних по отношению к модели. В играх, где используются автоматы с индикаторным поведением, настройка автоматов заключается в выборе процедуры изменения γ_i^k от партии к партии.

Основная сложность при реализации алгоритма индикаторного поведения заключается в определении положения цели \tilde{u}_i^k . Это связано с тем, что в общем случае при проведении игры отдельный участник не имеет точной информации о поведении оппонентов. Однако, во многих случаях каждый игрок, опираясь на собственную информацию, сообщенную центру, на знание закона управления и на полученный выигрыш, может восстановить агрегированную информацию о стратегиях других игроков [93].

4.2. ИМИТАЦИОННАЯ ИГРА «МЕХАНИЗМЫ ПЛАТЫ ЗА РИСК»

В данной игре предполагается, что затраты i -го игрока (предприятия) по достижению уровня безопасности y_i равны

$$\varphi_i = \frac{y_i^2}{2r_i}. \quad (1)$$

Если i -му предприятию установлен уровень безопасности y_i , то затраты этого предприятия на достижение уровня безопасности y_i и плата за риск, равный $1 - y_i$, равны

$$z_i(y_i) = \lambda(1 - y_i) + \frac{y_i^2}{2r_i}. \quad (2)$$

Естественно предположить, что каждое предприятие стремится сократить эти затраты. Поэтому, примем, что целевой функцией игроков является функция (2).

На этапе сбора данных каждый игрок сообщает ведущему игры (центру) информацию, необходимую для формирования уровня безопасности (УБ). Считается, что центру известен только отрезок возможных значений параметра $r_i \in [d_i, D_i]$, $i \in Q$. Поэтому игроки, зная процедуру формирования плановых уровней безопасности y_i и норматива λ , сообщают центру оценки s_i параметра r_i , позволяющие им, по их мнению, уменьшить значение своей целевой функции. На этапе планирования ведущий, исходя из значения X интегрального (регионального) УБ определяет значения плановых уровней безопасности y_i и норматива λ :

$$\lambda = \frac{X}{\sum_{i=1}^n s_i}, \quad (3)$$
$$y_i = \lambda s_i, i \in Q.$$

И, наконец, на этапе реализации игроки подсчитывают значения своих целевых функций.

На этом партия игры завершается, и игроки переходят к следующей партии, то есть опять сообщают ведущему необходимую информацию, ведущий в соответствии с (3) формирует плановые уровни безопасности и значения норматива λ , и игроки подсчитывают значения своих целевых функций и т.д. Игра заканчивается, когда стратегии игроков сходятся в некоторые равновесные ситуа-

ции. По стратегиям игроков в равновесной ситуации можно судить об эффективности исследуемого экономического механизма. Победителем считается тот игрок, у которого суммарное значение целевой функции за все партии игры оказалось наименьшим.

В приведенных ниже результатах игрового эксперимента участвовали четыре игрока-автомата ($n = 4$). Региональный уровень безопасности в игре был равен 3 ($X = 3$). Значения параметров r были: $r_1 = 1,5$, $r_2 = 1,5$, $r_3 = 2,5$, $r_4 = 2,5$. Оценка s параметра r , сообщаемая игроками ведущему игры (центру), находилась в пределах $s \in [0,4; 4]$. Автоматы формировали свою информацию для центра в соответствии с гипотезой индикаторного поведения (см. выражение (4.1.1)).

Значения коэффициентов γ_i^k (в процедуре (4.1.1)) были одинаковыми для всех периодов: $\gamma_1 = 0,3$, $\gamma_2 = 0,5$, $\gamma_3 = 0,2$, $\gamma_4 = 0,4$, а положение цели i -го автомата в k -й партии определялось выражением

$$\tilde{s}_i^k = \frac{\sigma_i^k r_i (1 + X)}{r_i X + \sigma_i^k X - r_i}, \quad (4)$$

где $\sigma_i^k = \sum_{j=1}^n s_j^k - s_i^k$. Стратегии игроков представлены на рис. 4.40.

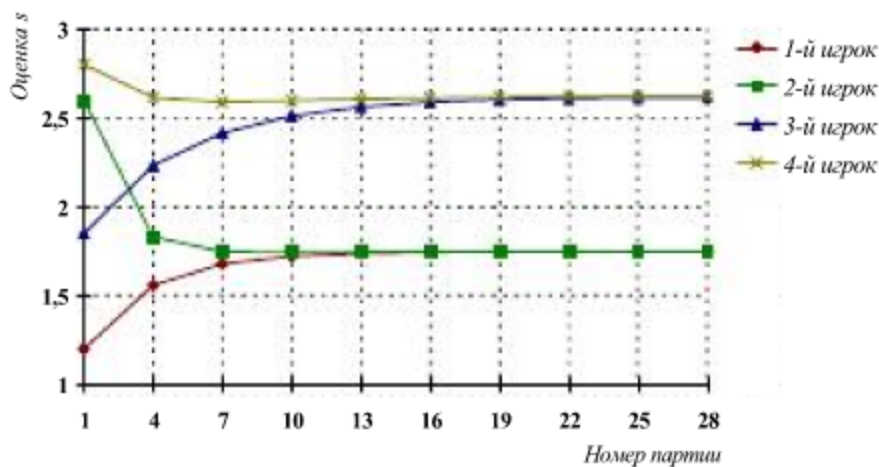


Рис. 4.40

Из рис. 4.37 следует, что примерно за девятнадцать партий стратегии автоматов сошлись в равновесную ситуацию, и $s_1^* = s_2^* = 1,75$, а $s_3^* = s_4^* = 2,62$, в то время как теоретический расчет значений оценок s_i , $i = 1, 2, 3, 4$, в ситуации равновесия при выполнении гипотезы слабого влияния показывал совпадение оценок s_i^* с истинными значениями r_i . Таким образом, расхождение равновесных значений s_i^* и истинных значений r_i составило для первых двух автоматов

14,3 %, и 4,6 % для других двух автоматов. На рис. 4.41 приведен график изменения норматива λ .

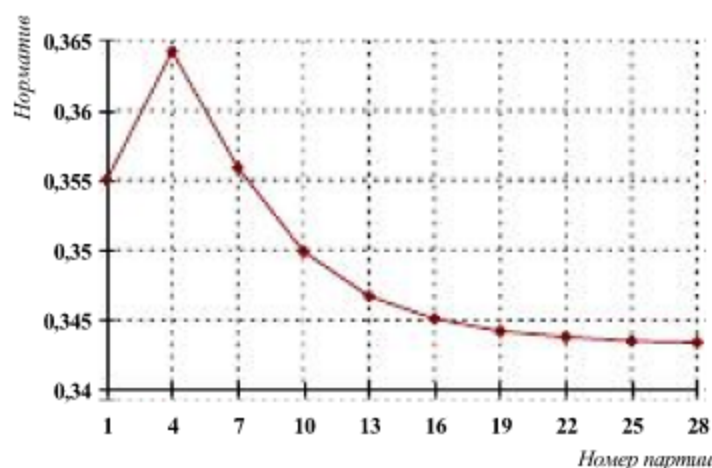


Рис. 4.41

Из рис. 4.41 следует, что в ситуации равновесия норматив λ принимает минимальное значение, равное 0,343, в то время как теоретически рассчитанное значение норматива равно 0,375.

На рис. 4.42 приведены графики изменения затрат игроков на достижение заданного уровня безопасности и плату за риск. А на рис. 4.43 изображен график изменения суммарных затрат на достижение в регионе уровня безопасности $X = 3$.

Из рис. 4.42 и 4.43 следует, что в ситуации равновесия суммарные затраты на достижение заданного уровня безопасности и плата за риск всех игроков и каждого игрока в отдельности принимают минимальные значения.

Степень влияния числа участников игрового эксперимента на его результаты, или, другими словами, эффект *гипотезы слабого влияния*, может быть оценен результатами другого игрового эксперимента, в котором принимали участие восемь игроков ($n = 8$).

Региональный УБ в этой игре был равен 6 ($X = 6$). Нетрудно заметить, что УБ $X = 3$ для четырех предприятий региона в некотором смысле аналогичен УБ $X = 6$ для восьми предприятий региона. Действительно, для случая четырех предприятий региона максимальный УБ равен 4, и УБ $X = 3$ соответствует 75 % от максимально возможного УБ. Соответственно, при максимальном УБ, равном 8, уровень безопасности $X = 6$ соответствует тем же самым 75 % от максимально возможного уровня безопасности.

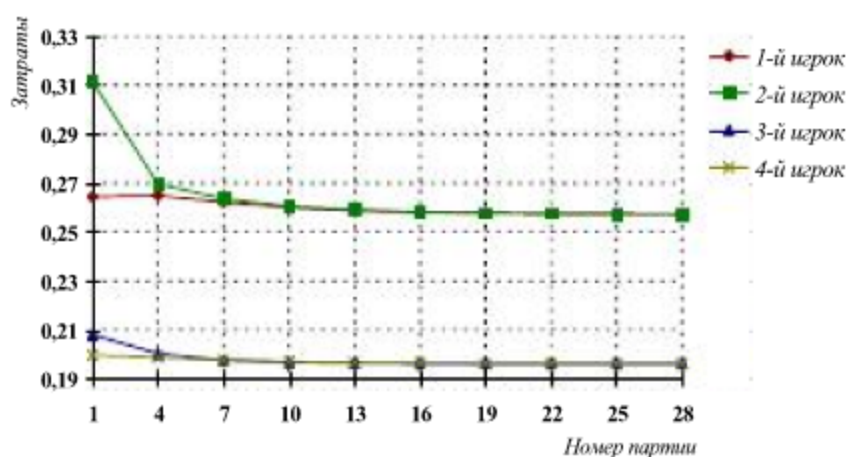


Рис. 4.42

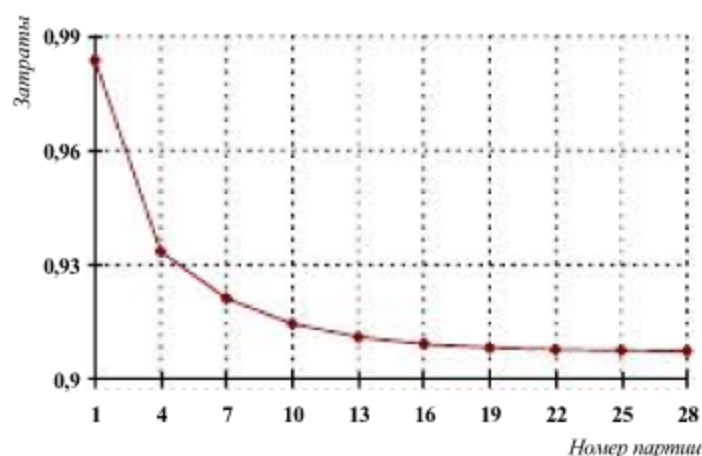


Рис. 4.43

Значения параметров r в новом эксперименте были: $r_1=1,5$, $r_2=1,5$, $r_3=2,5$, $r_4=2,5$, $r_5=1,5$, $r_6=1,5$, $r_7=2,5$, $r_8=2,5$, а значения коэффициентов γ_i^k : $\gamma_1=0,3$, $\gamma_2=0,5$, $\gamma_3=0,2$, $\gamma_4=0,4$, $\gamma_5=0,3$, $\gamma_6=0,5$, $\gamma_7=0,2$, $\gamma_8=0,4$.

Стратегии восьми автоматов представлены на рис. 4.44.

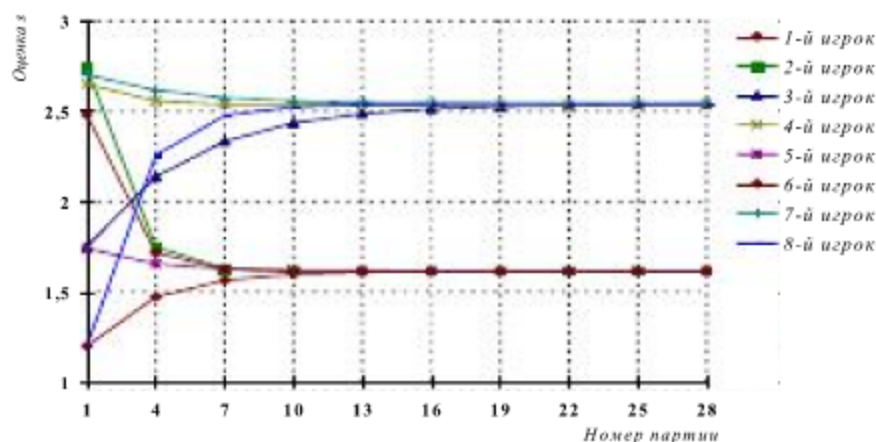


Рис. 4.44

Из рис. 4.44 следует, что стратегии автоматов сошлись в равновесную ситуацию и $s_1^* = s_2^* = s_5^* = s_6^* = 1,62$, а $s_3^* = s_4^* = s_7^* = s_8^* = 2,54$. В этом случае расхождение равновесных значений s_i^* и истинных значений r_i составило для первого, второго, пятого и шестого автомата 8 %, и 1,6 % – для остальных автоматов.

Для случая $r_1 = r_2 = \dots = r_n = r$ несложно получить значения равновесных оценок s_i^* . Действительно, подставив (3) в (2) и дифференцируя выражение по s_i , получаем

$$\frac{\partial z_i}{\partial s_i} = \frac{\partial \lambda}{\partial s_i} (1 - y_i) - \lambda \frac{\partial y_i}{\partial s_i} + \frac{y_i}{r_i} \frac{\partial y_i}{\partial s_i} = 0,$$

или

$$-\left(\sum_{j=1}^n s_j - s_i X\right) - \left(\sum_{j=1}^n s_j - s_i\right) X + \frac{s_i}{r_i} \left(\sum_{j=1}^n s_j - s_i\right) X = 0. \quad (5)$$

Так как $r_1 = r_2 = \dots = r_n = r$, то можно предположить, что $s_1^* = s_2^* = \dots = s_n^* = s^*$, тогда (5) можно записать в виде

$$r X + s(n-1) X - r = (n-1) r + (n-1) r X,$$

а отсюда следует

$$s^* = \frac{(n-2)X + n}{(n-1)X} r. \quad (6)$$

Отклонение равновесного значения s^* от истинного значения r составляет $\delta = \frac{|s^* - r|}{r} 100\% = \frac{|n-X|}{(n-1)X} 100\%$. Таким образом, для $n=4$ и

$X=3$, $\delta = 11,11\%$, и, соответственно, для $n=8$ и $X=6$, $\delta = 4,76\%$.

Из (6) следует, что $\lim_{n \rightarrow \infty} s^* = \frac{X+1}{X} r$.

Равновесная оценка s^* с ростом n будет стремиться к истинному значению параметра r , если X будет возрастать с ростом n (например, $X = X_0 n$).

Результаты теоретического исследования модели линейного механизма платы за риск, полученные ранее и приведенные выше результаты игровых экспериментов, соответствуют таким исходным данным, когда в ситуации равновесия $\{s_i^*\}$, $i \in Q$, выполняется условие

$$y_i^* = \frac{s_i^*}{\sum_{j=1}^n s_j^*} X \leq M_i, \quad (7)$$

где $M_i \leq 1$ – максимальный уровень безопасности, который может быть запланирован для i -го объекта.

В данном случае считается, что по определению, уровень безопасности i -го объекта y_i не может быть больше 1. В частности, выполнение условия слабого влияния, обеспечивает сообщение достоверной информации лишь в случае справедливости условия $y_i^* = \frac{r_i}{\sum_{j=1}^n r_j} X \leq M_i$. Если в какой-либо из партий игры для k -го игрока

возникла такая ситуация, что $y_k = \frac{s_k}{\sum_{j=1}^n s_j} X > M_k$, то полагали y_k рав-

ным M_k , и планируемый уровень безопасности распределялся между остальными игроками в соответствии со следующей процедурой

$$y_i = \frac{X - M_k}{\sum_{j \neq k} s_j} s_i, \quad i = 1, 2, \dots, k-1, k+1, \dots, n. \quad (8)$$

В случае, когда условие (7) не выполняется для k -го игрока, предполагается, что для него выполняется *гипотеза благожелательного отношения* к центру. То есть, если изменение оценки s_k не приводит к изменению значения целевой функции k -го игрока, то он будет сообщать центру достоверную информацию. Для всех остальных игроков планируемый уровень безопасности будет определяться в соответствии с процедурой (8). Предполагая, что число участников игрового эксперимента достаточно велико, и что справедлива гипотеза слабого влияния, легко придти к заключению, что в ситуации равновесия все игроки сообщают достоверную информацию.

Однако при проведении игровых экспериментов с автоматами не всегда удаётся получить точное значение равновесной стратегии. Это вызвано тем, что невозможно точно определить положение цели i -го автомата в k -й партии.

Действительно, зная процедуру формирования планового уровня безопасности (3) и свой собственный плановый уровень безопасности y_i , i -й игрок может восстановить агрегат оценок σ_i остальных участников игры. Так как $y_i = \frac{s_i}{s_i + \sigma_i} X$, то $\sigma_i = \frac{X - y_i}{y_i} s_i$. Этот агрегат используется для определения положения цели в соответствии с

процедурой (4). Однако при использовании процедуры (8) получить точное значение σ_i невозможно.

На рис. 4.45 приведены результаты игрового эксперимента для четырех игроков ($n = 4$). Региональный уровень безопасности в игре был равен 3 ($X = 3$), ограничения для каждого игрока $M_1 = M_2 = M_3 = M_4 = 1$. Значения параметров r были: $r_1 = 1,3$, $r_2 = 1,3$, $r_3 = 1,3$, $r_4 = 2,6$, а значения коэффициентов γ_i^k : $\gamma_1 = 0,3$, $\gamma_2 = 0,5$, $\gamma_3 = 0,2$, $\gamma_4 = 0,4$. Оценка s параметра r , сообщаемая игроками ведущему игры (центру), находилась в пределах $s \in [0,4; 4]$.

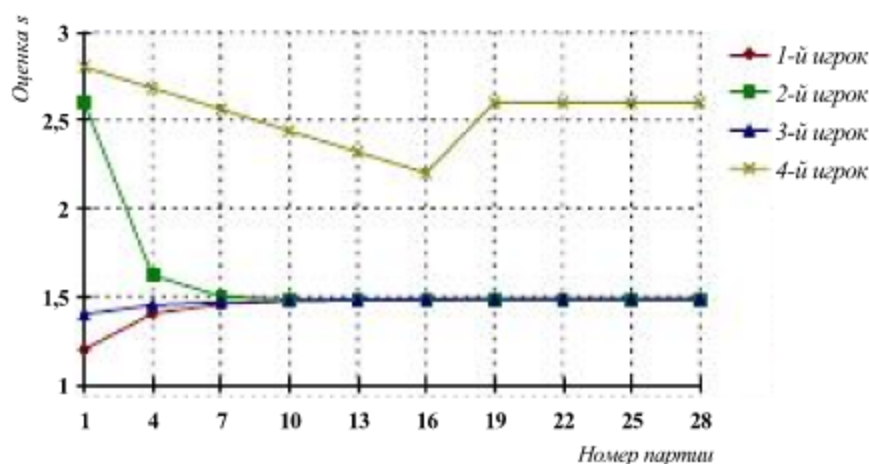


Рис. 4.45

Из рис. 4.45 следует, что автоматы сошлись в некоторую равновесную ситуацию $s_1^* = s_2^* = s_3^* = 1,49$, $s_4^* = 2,6$. Однако, эта равновесная ситуация не является равновесием по Нэшу. Для рассматриваемого примера равновесной ситуацией по Нэшу является $s_1^* = s_2^* = s_3^* = 1,38$, $s_4^* = 2,6$. Таким образом, расхождение равновесных значений s_i^* и истинных значений r_i составило для первых трех игроков 6,4 %, в то время как четвертый игрок сообщал истину. Величина планового уровня безопасности для каждого игрока при этом была равна $y_1^* = y_2^* = y_3^* = 2/3$, $y_4^* = 1$. Отметим, что, если все игроки сообщат центру достоверную информацию, то должно иметь место $y_1 = y_2 = y_3 = 0,6$, $y_4 = 1,2$. Однако, по условию $y_4 \leq 1$, и в результате получается $y_1 = y_2 = y_3 = 2/3$, $y_4 = 1$. Однако следует заметить, что условие $y_i \leq 1$ — это чисто теоретическое условие, так как оно допускает значение уровня безопасности для отдельного предприятия равным 1. Хотя на реально работающем предприятии такой уровень безопасности вряд ли достигим. Поэтому в дальнейшем, при анализе модели линейного механизма платы за риск, будем полагать, что максимальное значение планируемого уровня безопасности для отдельного предприятия не может превышать ве-

личины $M_i < 1$. При ограничении на максимальный плановый уровень безопасности, те игроки, для которых не выполняется условие (7), в ситуации равновесия будут заинтересованы сообщать максимально возможную оценку. Этот вывод следует из того факта, что с ростом оценки для этих игроков планируемый уровень безопасности уже не увеличивается, а норматив λ будет падать, что приведет к снижению платы за риск, и, как следствие, к уменьшению общих затрат игрока. Результат проведения игрового эксперимента для тех же условий, что и в предыдущем случае, но при ограничении на максимальное значение планируемого уровня безопасности $M_i = 0,8$ представлен на рис. 4.46.

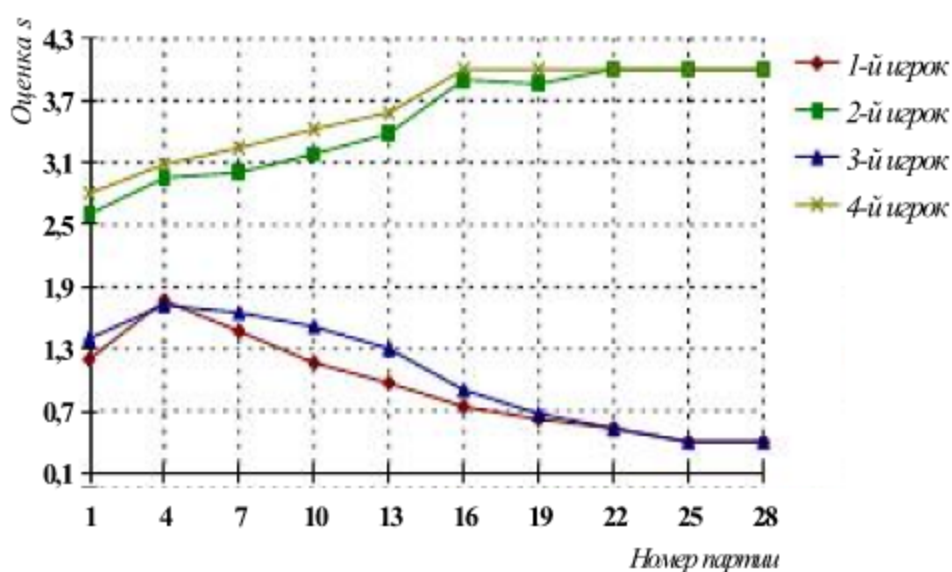


Рис. 4.46

Подчеркнем тот факт, что, несмотря на одинаковые возможности первого, второго и третьего игроков, в ситуации равновесия один из этих игроков сообщает максимально возможную оценку, а два других, сообщают минимально возможную оценку. Изменение значений целевых функций игроков для этого случая представлено на рис. 4.47.

В ситуации равновесия значения целевых функций игроков равны $z_1 = z_3 = 0,291$, $z_2 = 0,314$ и $z_4 = 0,191$. Если бы первые три игрока сообщили оценки $s_1 = s_2 = s_3 = 0,4$, а $s_4 = 4$, то значения целевых функций игроков были бы соответственно равны $z_1 = z_2 = z_3 = 0,361$, а $z_4 = 0,239$. То есть, один из игроков, имеющий такие же условия и возможности, что и остальные игроки, в ситуации равновесия проигрывает им. Сходимость в такую ситуацию равновесия во многом определяется выбором стратегии в первой партии игры.

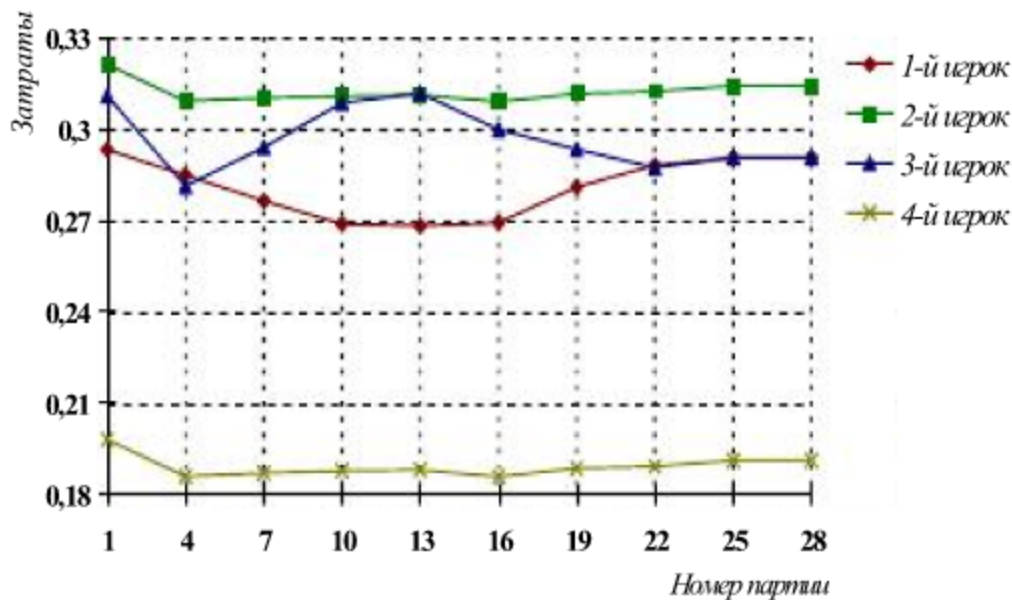


Рис. 4.47

4.3. ИМИТАЦИОННАЯ ИГРА «МЕХАНИЗМЫ СТИМУЛИРОВАНИЯ СНИЖЕНИЯ УРОВНЯ РИСКА»

В настоящем разделе предполагается, что затраты i -го предприятия на достижение уровня безопасности y_i определяются выражением (1) предыдущего раздела.

Каждое предприятие стимулируется за обеспечение заданного УБ. Величина стимулирования равна λy_i . Целевая функция игрока равна разности стимулов и затрат, то есть

$$f_i = \lambda y_i - \frac{y_i^2}{2r_i}. \quad (1)$$

Норматив λ и УБ y_i определяются в соответствии с выражением (3) предыдущего раздела.

Ниже приведены результаты игрового эксперимента, в котором также участвовали четыре игрока ($n = 4$), а исходные данные в точности соответствовали данным в рассмотренном выше эксперименте. То есть $X = 3$, $r_1 = 1,5$, $r_2 = 1,5$, $r_3 = 2,5$, $r_4 = 2,5$, $\gamma_1 = 0,3$, $\gamma_2 = 0,5$, $\gamma_3 = 0,2$, $\gamma_4 = 0,4$, $M = 1$ и $s_i \in [0,4; 4]$.

В процессе игры участники стремятся максимизировать свою целевую функцию. Стратегии игроков для этого варианта игры представлены на графике, изображенном на рис. 4.48.

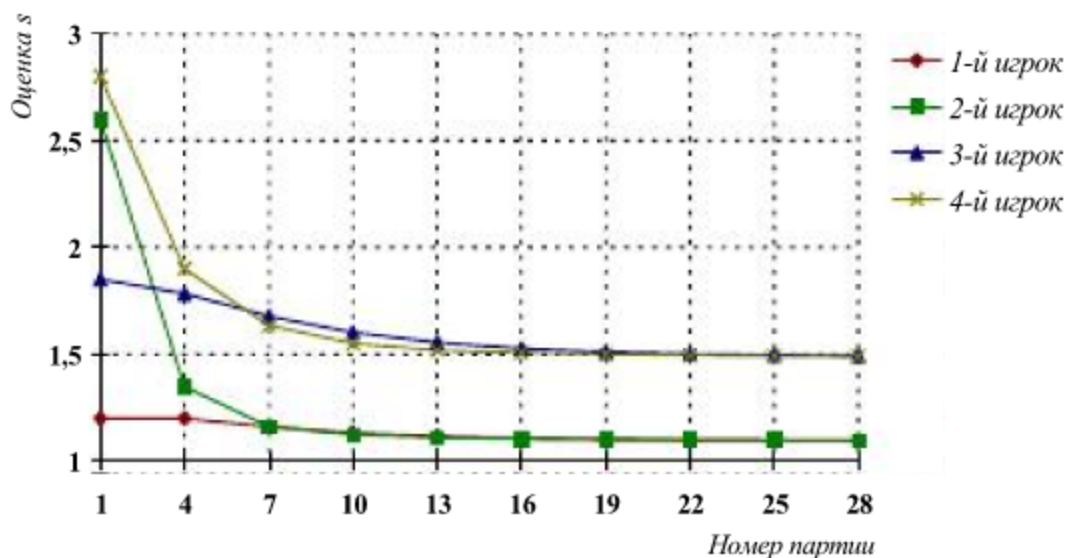


Рис. 4.48

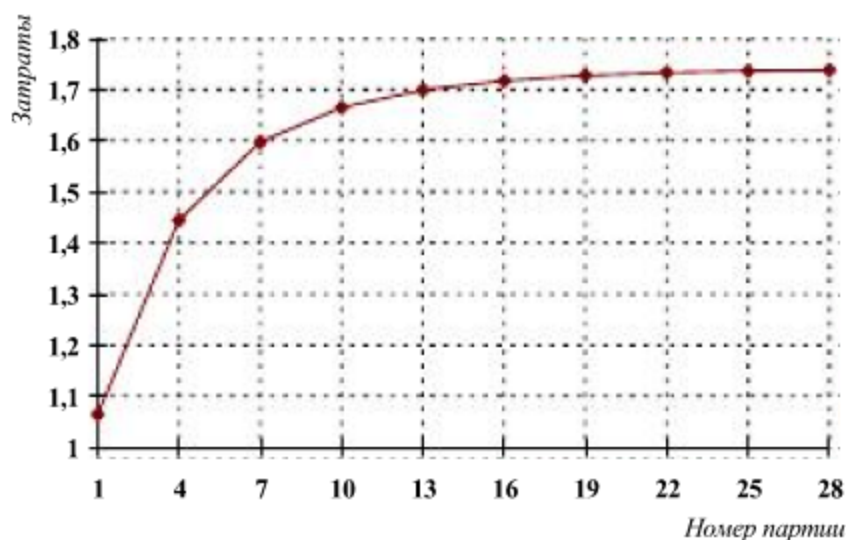


Рис. 4.49

Из рис. 4.48 следует, что стратегии игроков сошлись в равновесную ситуацию и $s_1^* = s_2^* = 1,1$, а $s_3^* = s_4^* = 1,49$. Таким образом, расхождение равновесных значений s_i^* и истинных значений r_i составило для первых двух игроков 26,7 % и 40,4 % для других двух игроков.

График изменения суммарных затрат на стимулирование участников игры приведен на рис. 4.49.

Степень влияния числа участников игрового эксперимента на его результаты также может быть оценена результатами игрового эксперимента с восемью игроками. Здесь, как и в предыдущем случае, $X = 6$, $r_1 = 1,5$, $r_2 = 1,5$, $r_3 = 2,5$, $r_4 = 2,5$, $r_5 = 1,5$, $r_6 = 1,5$, $r_7 = 2,5$, $r_8 = 2,5$, $\gamma_1 = 0,3$, $\gamma_2 = 0,5$, $\gamma_3 = 0,2$, $\gamma_4 = 0,4$, $\gamma_5 = 0,3$, $\gamma_6 = 0,5$, $\gamma_7 = 0,2$,

$\gamma_8=0,4$. Изменение стратегий игроков представлено на графике, изображенном на рис. 4.50.

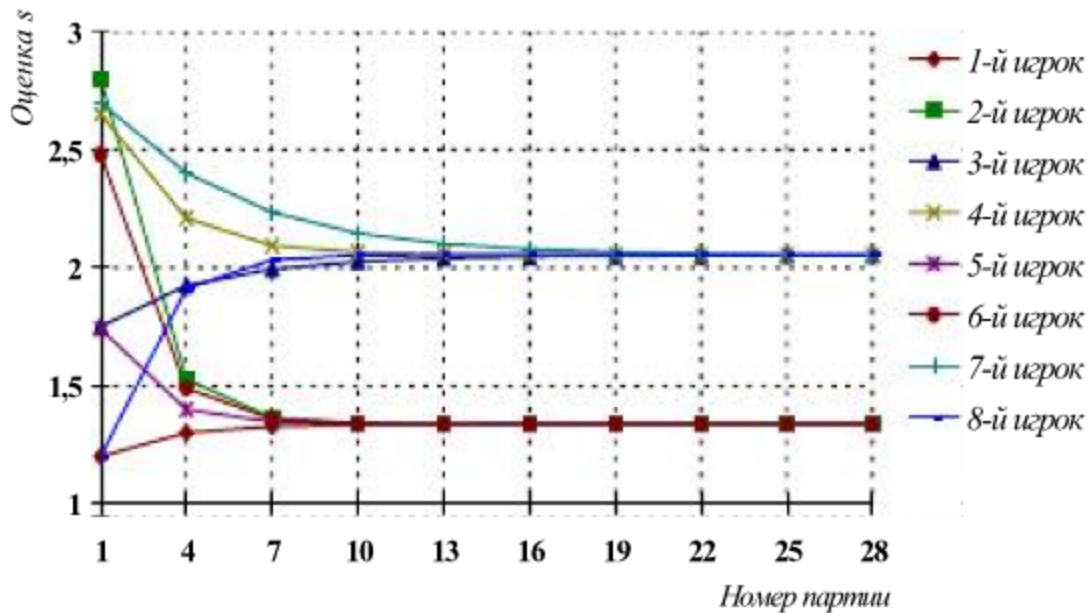


Рис. 4.50

Из этого графика видно, что стратегии игроков сошлись в равновесную ситуацию и $s_1^* = s_2^* = s_5^* = s_6^* = 1,34$, а $s_3^* = s_4^* = s_7^* = s_8^* = 2,05$. В этом случае, расхождение равновесных значений s_i^* и истинных значений r_i составило для первого, второго, пятого и шестого игроков 10,7 % и 18 % – для остальных игроков. Суммарные затраты на стимулирование участников игры в ситуации равновесия составили 2,65. При действии линейного механизма стимулирования для случая $r_1 = r_2 = \dots = r_n = r$ получим значения равновесных оценок s_i^* . Для этого, подставив (4.2.3), продифференцируем (1) по s_i : $\frac{\partial f_i}{\partial s_i} = \frac{\partial \lambda}{\partial s_i} y_i + \lambda \frac{\partial y_i}{\partial s_i} - \frac{y_i}{r_i} \frac{\partial y_i}{\partial s_i} = 0$, или

$$r_i \left(\sum_{j=1}^n s_j - 2s_i \right) - s_i \left(\sum_{j=1}^n s_j - s_i \right) = 0.$$

Полагая, что $s_1^* = s_2^* = \dots = s_n^* = s^*$, последнее выражение можно записать в виде $r(n-2) = s^*(n-1)$, или $s^* = \frac{n-2}{n-1}r$. Отклонение равновесного значения s^* от истинного значения r составляет $\delta = \frac{1}{n-1}100\%$. Таким образом, для $n=4$, $\delta = 33,33\%$, и, соответственно, для $n=8$, $\delta = 14,29\%$.

Результаты теоретического исследования модели линейного механизма стимулирования и приведенные выше результаты игровых

экспериментов соответствуют таким исходным данным, когда в ситуации равновесия $\{s_i^*\}$, $i \in Q$, выполняется условие (7) предыдущего раздела.

Рассмотрим теперь результаты игрового эксперимента, когда максимальное значение планируемого уровня безопасности для отдельного предприятия ограничено величиной $M_i = 0,8$. Пусть, как и в примере, рассмотренном при анализе линейного механизма платы за риск, $n = 4$, $X = 3$, $r_1 = 1,5$, $r_2 = 1,5$, $r_3 = 2,5$, $r_4 = 2,5$, $\gamma_1 = 0,3$, $\gamma_2 = 0,5$, $\gamma_3 = 0,2$, $\gamma_4 = 0,4$, $s \in [0,4; 4]$. При этих данных условие (7) предыдущего раздела не выполняется.

График изменения стратегий игроками, представлен на рис. 4.51.

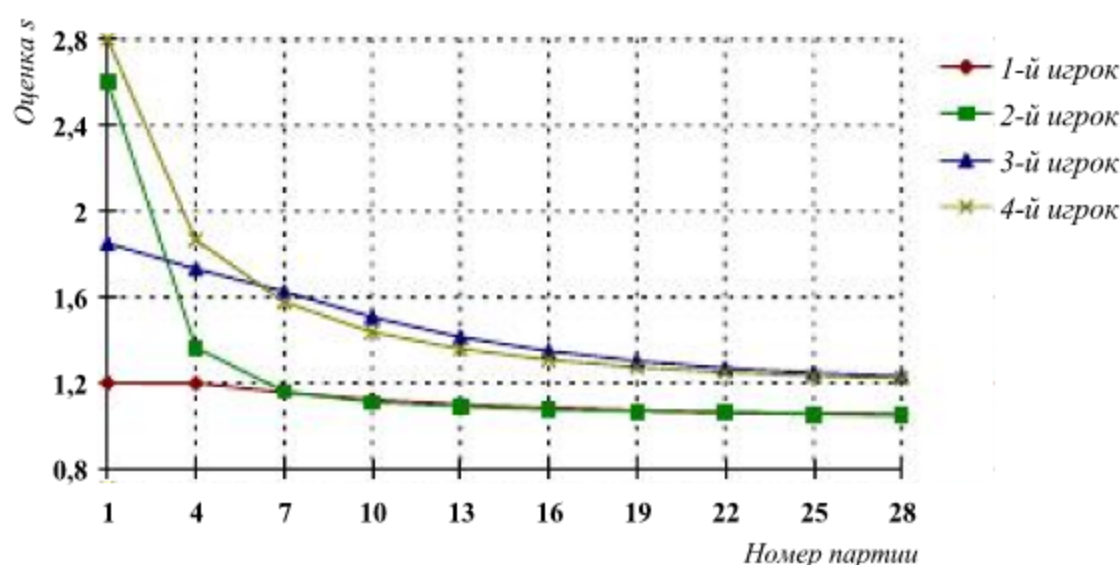


Рис. 4.51

Из него видно, что по сравнению с вышерассмотренным примером, когда $M_1 = M_2 = M_3 = M_4 = 1$, игроки в ситуации равновесия сообщают меньшие оценки коэффициента r . Так $s_1^* = s_2^* = 1,05$, а $s_3^* = s_4^* = 1,23$. То есть, расхождение равновесных значений s_i^* и истинных значений r_i увеличилось и составило для первых двух игроков 30 % и 50,8 % для других двух игроков.

На рис. 4.52 представлен график изменения суммарных затрат на стимулирование участников игры.

Из сравнения графиков на рис. 4.49 и 4.52 следует, что при одном и том же уровне безопасности региона суммарные затраты на стимулирование (при ограничении на значение планового уровня безопасности для отдельного предприятия) в 1,14 раза выше, чем при отсутствии ограничений.

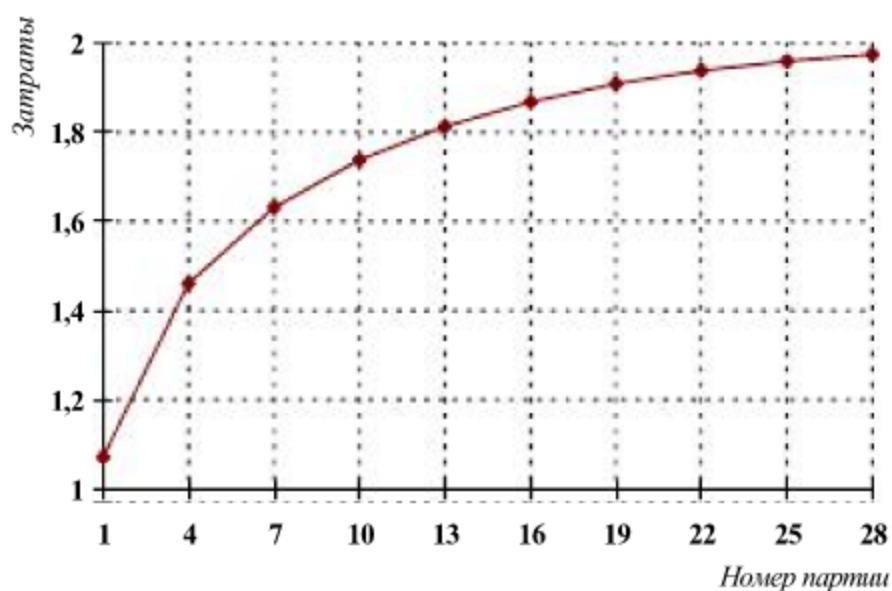


Рис. 4.52

Таким образом, введение дополнительных ограничений на максимальное значение планового уровня безопасности отдельного предприятия при неизменном уровне безопасности всего региона приводит к большому искажению информации, и, как следствие, к большим суммарным затратам на стимулирование.

4.4. ИМИТАЦИОННАЯ ИГРА «МЕХАНИЗМЫ ФИНАНСИРОВАНИЯ СНИЖЕНИЯ УРОВНЯ РИСКА»

Задача финансирования мероприятий по поддержанию необходимого уровня безопасности состоит в распределении общего объема средств между исполнителями на проведение работ по снижению уровня риска. Фактически, эта задача является задачей распределения ресурсов – одной из наиболее распространенных задач в теории и практике управления экономическими системами. Ее решение существенным образом зависит от принципов, заложенных в процедуры распределения финансовых средств. В имитационных играх по распределению централизованных средств рассматривается функционирование двухуровневой системы, состоящей из центра (лица, принимающего решение о распределении финансовых средств для обеспечения заданного уровня безопасности), и элементов системы – предприятий. В распоряжении центра имеется некоторый объем средств R_0 , который распределяется между предприятиями. Следует отметить, что поддержание допустимого уровня безопасности элементом системы возможно, если он получает

объем средств не меньше, чем некоторая величина. Если средств будет получено меньше этой величины, они будут израсходованы, но качество выполненной работы не будет удовлетворять даже самым минимальным требованиям, предъявляемым центром, а эффект, полученный центром от средств, направленных на обеспечение заданного уровня безопасности, будет фактически нулевым. В дальнейшем, не умаляя общности, будем считать, что каждое предприятие всегда получает такой объем средств, который позволяет выполнить работу, отвечающую минимальным требованиям центра. В то же время, очевидно, что получение предприятием большого объема финансирования обеспечивает поддержание допустимого уровня безопасности в соответствии с заданными требованиями, однако эффективность использования выделенных средств, при этом уменьшается. Центр стремится так распределить имеющиеся в его распоряжении финансовые средства, чтобы суммарный эффект, полученный от выполнения всех мероприятий обеспечения безопасности, был бы наибольшим. Величина этого эффекта зависит от того, сколько финансовых средств будет выделено каждому предприятию, насколько эффективно они будут использованы. В то же время, перед предприятиями стоит задача получить финансовые средства в таком объеме, который обеспечил бы им наиболее благоприятные условия функционирования и, как следствие – максимизировал их целевые функции.

К введенным выше обозначениям добавим следующие: R_0 – количество финансовых средств, имеющихся у центра; V_i – количество финансовых средств, получаемое i -м предприятием от центра; r_i – коэффициент, характеризующий использование финансовых средств i -м предприятием;

Если i -е предприятие получает финансовые средства в количестве V_i , то эффект их использования будет оцениваться некоторой функцией эффекта $h_i(r_i, V_i)$, другими словами, будем считать, что $y_i = h_i(r_i, x_i)$. Положим, что $h_i(r_i, V_i) = \sqrt{r_i V_i}$.

Так как задача центра заключается в увеличении суммарного эффекта по всем предприятиям, то в случае, когда центру точно известны значения r_i , $i \in Q$, задача распределения финансовых средств имеет вид:

$$\sum_{j=1}^n \sqrt{r_j V_j} \xrightarrow{V} \max$$

$$\sum_{j=1}^n V_j = R_0. \quad (1)$$

И, соответственно, решение этой задачи:

$$V_i = \frac{r_i}{\sum_{j=1}^n r_j} R_0. \quad (2)$$

Целевую функцию i -го предприятия можно представить в виде

$$f_i = V_i - \frac{y_i^2}{2r_i}, \quad (3)$$

или, для $y_i = \sqrt{r_i V_i}$: $f_i = V_i - \frac{r_i V_i}{2r_i} = V_i \left(1 - \frac{r_i}{2r_i}\right).$

Как показано выше, центр распределил бы имеющийся у него ресурс оптимально, если бы имел точную информацию о значениях коэффициентов r_i . Обычной схемой распределения финансовых средств в условиях неполной информированности центра является финансирование на основе информации, полученной от предприятий. То есть, сначала предприятия сообщают в центр заявки на финансирование – оценки s_i значений коэффициентов ϵ , а центр на основе полученных оценок распределяет финансовые средства R_0 , решая задачу (1). В этом случае объем финансирования, который получает предприятие, равен

$$V_i = \frac{s_i}{\sum_{j=1}^n s_j} R_0. \quad (4)$$

Таким образом, средства между предприятиями распределяются пропорционально значениям s_i . Если принять, что в центре имеется информация о максимально возможных значениях D_i коэффициентов ϵ , то можно показать, что при пропорциональном распределении финансовых средств для каждого предприятия имеется абсолютно оптимальная стратегия формирования заявки, а именно $s_i = D_i$, $i \in Q$. Действительно, на множестве допустимых заявок $0 \leq s_i \leq D_i$ количество финансовых средств $V_i(s)$, выделяемое i -му предприятию, есть строго монотонная возрастающая функция s_i . В частности, при максимальных заявках i -му предприятию выделяет-

ся количество средств, равное $\frac{D_i}{\sum_{j=1}^n D_j} R_0$. Бóльшую заявку предпри-

ятие сообщить не может в связи с ограничением на максимальное значение коэффициентов r_i , а при уменьшении заявки у него уменьшается количество выделяемых финансовых средств. Т.к. целевая функция $f(r_i, V_i)$ каждого предприятия строго монотонно возрастает при увеличении V_i , поэтому $f(r_i, V_i(s))$ строго монотонно возрастает при увеличении s_i на интервале $[0; D_i]$. Отсюда следует, что $s_i = D_i$ – единственная абсолютно оптимальная стратегия каждого предприятия. А ситуация $s_i = D_i, i \in Q$ является равновесной стратегией (равновесием в доминантных стратегиях [50] игры предприятий).

При проведении игрового эксперимента с автоматами положение цели \tilde{s}_i^k для них формировалось из условия

$$y_i^{k+1} = \sqrt{\tilde{s}_i^k V_i^{k+1}} = M_i. \text{ Откуда } \tilde{s}_i^k = \frac{M_i + \sqrt{M_i^2 + 4RM_i\sigma_i}}{2R_0}.$$

На рис. 4.53 приведены результаты игрового эксперимента, в котором участвовали четыре игрока-автомата ($n=4$), а исходные данные такие же, как в рассмотренных выше экспериментах. То есть, $X=3, r_1=1,5, r_2=1,5, r_3=2,5, r_4=2,5, \gamma_1=0,3, \gamma_2=0,5, \gamma_3=0,2, \gamma_4=0,4, M=1$ и $s_i \in [0,4; 4]$. Кроме того, $R_0=1, r_1=2, \epsilon_2=1,9, r_3=1,7, r_4=1,4$.

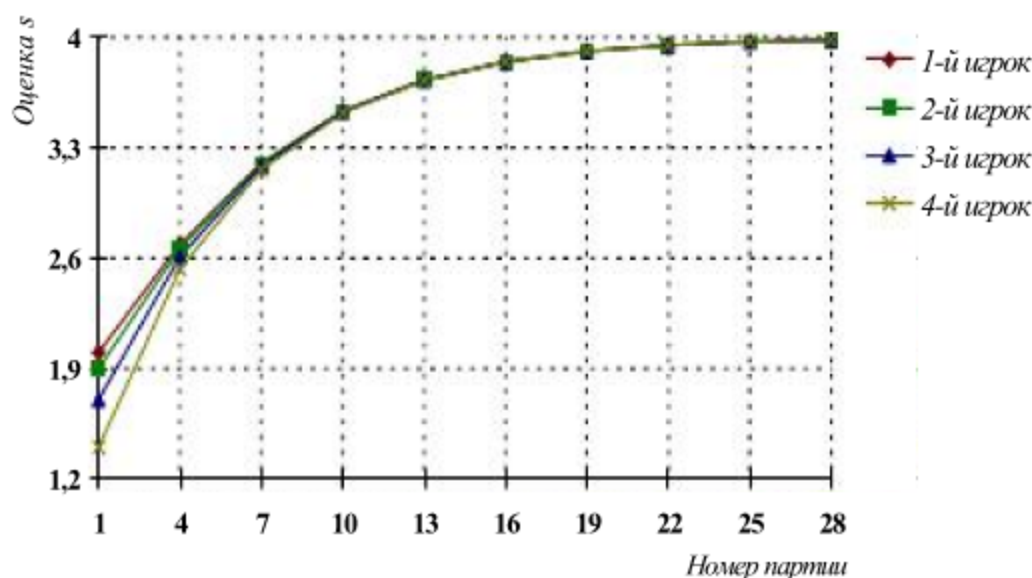


Рис. 4.53

Задача участников игры заключается в максимизации разности полученной компенсации и фактически потраченных средств на достижение требуемого уровня безопасности. Стратегии игроков для этого варианта игры представлены на графике, изображенном на рис. 4.53. Соответственно, изменение общего уровня безопасности в системе из четырех предприятий представлено на рис. 4.54.

Пропорциональное распределение при нехватке распределяемых средств всегда ведет к росту заявок. Из (3) следует, что целевая функция игроков возрастает с ростом получаемого ресурса, поэтому распределяемых средств для них будет не хватать. Это и показал график на рис. 4.53. Более того, целевая функция (3) монотонно возрастает при увеличении V для любого $t \leq 1/2$, если $y_i = (r_i V_i)^t$, то есть тенденция завышения оценок в этом случае будет сохраняться.

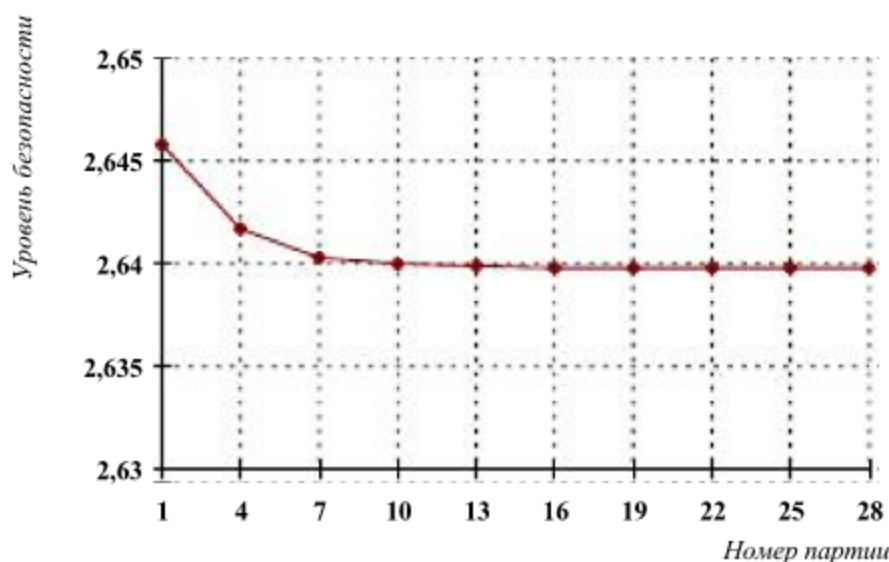


Рис. 4.54

Принцип обратных приоритетов. В этом случае предприятия делают сразу заявку на необходимые им финансовые ресурсы, поэтому в дальнейшем под s_i будем понимать заявку на финансовые средства. Идея принципа обратных приоритетов [20] заключается в следующем: приоритет предприятия при распределении финансовых средств тем выше, чем меньший объем средств оно запрашивает. Другими словами, приоритет предприятия обратно пропорционален его заявке на объем финансирования. Качественно этот принцип распределения можно обосновать на примере двух одинаковых предприятий. Если предприятия планируют дать одинаковый эффект и при этом запрашивают разное количество финансовых

средств, то в этом случае предприятие, запрашивающее меньший объем финансирования, планирует использовать получаемые средства с большей отдачей, поэтому в качестве показателя приоритета предприятия может выступать величина эффекта $\vartheta_i(\epsilon_i, s_i) / s_i$. Процедура распределения на основе принципа обратных приоритетов может быть представлена в виде

$$V_i(s) = \begin{cases} s_i, & \text{если } \sum_{j=1}^n s_j \leq R_0, \\ \min \left(s_i, \frac{\vartheta_i(r_i, s_i) / s_i}{\sum_{j=1}^n \vartheta_j(r_j, s_j) / s_j} R \right), & \text{если } \sum_{j=1}^n s_j > R_0. \end{cases} \quad (5)$$

При такой процедуре возможны случаи, когда часть финансовых средств R_0 останется нераспределенной при $\sum_{j=1}^n s_j > R_0$. Пусть

$R_{ост} = R_0 - \sum_{j=1}^n V_j$. Один из способов распределения остатка финансо-

вых средств, который применяется в игре, – это распределение пропорционально неудовлетворенному спросу. Обозначим $\Delta s_i = s_i - V_i(s)$, тогда дополнительное количество финансовых средств, которое получает предприятие, определяется выражением

$$\Delta V_i = \frac{\Delta s_i}{\sum_{j=1}^n \Delta s_j} R_{ост}. \text{ Легко показать, что при этом } V_i + \Delta V_i \leq s_i.$$

В ситуации равновесия должно выполняться условие

$$s_i^* = \frac{\vartheta_i(r_i, s_i^*) / s_i^*}{\sum_{j=1}^n \vartheta_j(r_j, s_j^*) / s_j^*} R_0.$$

Для того чтобы найти равновесные значения s_i^* , необходимо решить систему уравнений: $s_i^* = \frac{\sqrt{r_i / s_i^*}}{\sum_{j=1}^n \sqrt{r_j / s_j^*}} R_0$.

Решение этой системы дает единственную ситуацию равновесия: $s_i^* = \frac{\sqrt[3]{r_i}}{\sum_{j=1}^n \sqrt[3]{r_j}} R_0$. При этом $V_i(s_i^*) = s_i^*$.

При игровой оценке эффективности процедуры распределения финансовых средств, основанной на принципе обратных приоритетов, также можно использовать автоматы. В каждой партии игрового эксперимента положение цели \tilde{s}_i^k для автоматов находится из решения уравнения

$$\tilde{s}_i^k = \frac{\sqrt{r_i / \tilde{s}_i^k}}{\sum_{j \neq i}^n \sqrt{r_j / s_j^k} + \sqrt{r_i / \tilde{s}_i^k}} R_0.$$

На рис. 4.55 приведены графики изменения стратегий участников игрового эксперимента, в котором участвовали четыре игрока, а исходные данные такие же, как в рассмотренных ранее экспериментах, только ограничения на заявки финансовых средств лежат в пределах $[0; 1]$.

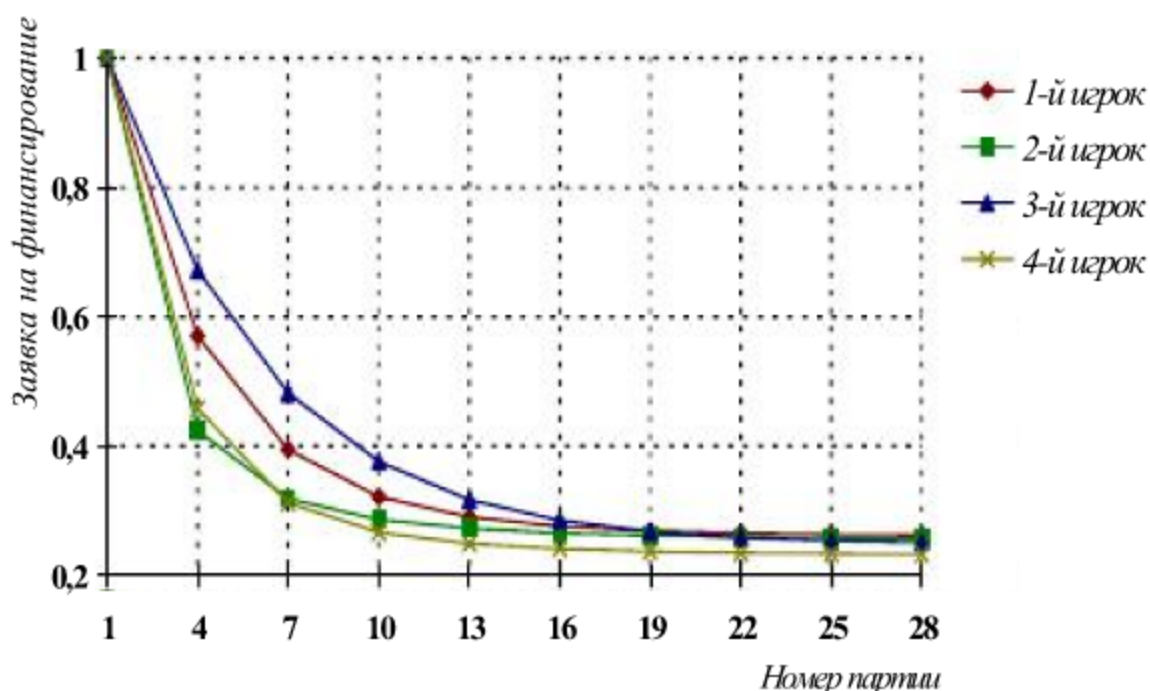


Рис. 4.55

Изменение общего уровня безопасности в системе из четырех предприятий представлено на рис. 4.56.

Сравнение результатов двух экспериментов показывает, что переход от процедуры пропорционального распределения финансовых средств к процедуре распределения на основе принципа обратных приоритетов позволил незначительно увеличить общий уровень безопасности.

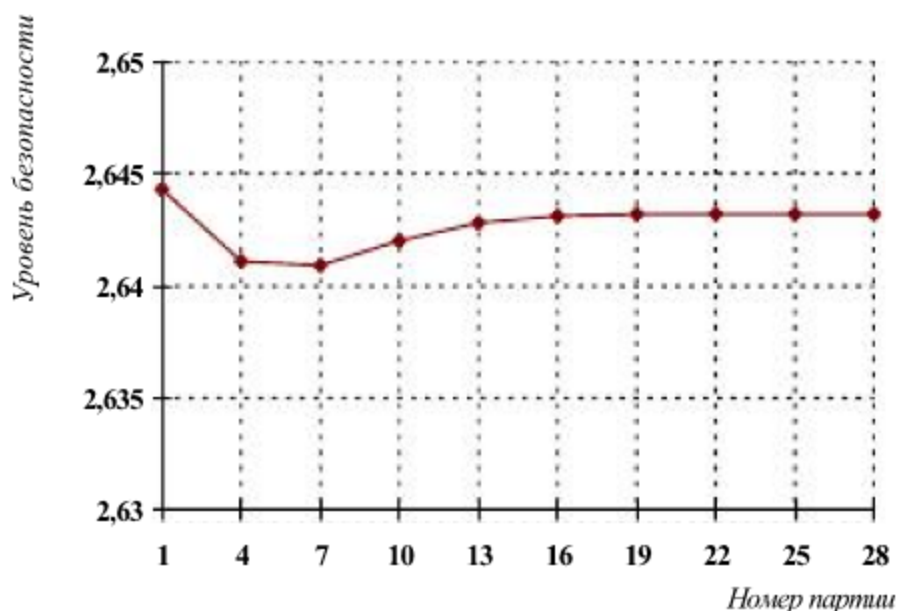


Рис. 4.56

Конкурсные механизмы распределения финансовых средств. Особенность конкурсных механизмов состоит в том, что они требуют организации явного соперничества между участниками конкурса. В число победителей конкурса входят те предприятия, которые имеют наибольшие показатели эффективности использования выделяемых средств на выполнение работ, по обеспечению требуемого уровня безопасности. Победители конкурса получают определенный приоритет при распределении финансовых средств. Следует отметить, что при организации конкурса предприятия сообщают в центр не только заявку на объем финансирования, но и ожидаемую величину эффекта от выполнения требуемых мероприятий. То есть для достижения своих целей они уже могут «играть» на двух видах информации.

Пусть

m' – количество предприятий-победителей конкурса;

w_i – оценка ожидаемого эффекта i -го предприятия;

ε_i – оценка эффективности i -го предприятия: $\varepsilon_i = \frac{w_i}{s_i}$;

V_0 – минимальный размер финансовых средств, выделенных предприятиям, не вошедшим в число победителей;

χ_i – функция штрафа за недостижение (или за завышение) ожидаемого эффекта i -м предприятием:

$$\chi_i = \begin{cases} \mu [\varepsilon_i - h_i(r_i, V_i)], & \text{если } w_i - h_i(r_i, V_i) > 0, V_i = s_i, \\ 0, & \text{если } w_i - h_i(r_i, V_i) \leq 0; \end{cases}$$

μ – коэффициент штрафа.

Отметим, что штрафы налагаются лишь на те предприятия, которые получили запрашиваемые финансовые средства в полном объеме. Под *конкурсными механизмами* будем понимать механизмы распределения финансовых средств, в которых процедура планирования включает этап определения множества Q' предприятий-победителей конкурса. Это множество содержит номера предприятий с наибольшими оценками эффективности.

Алгоритм определения множества Q' может быть представлен следующим образом. Упорядочим оценки эффективности предприятий $\varepsilon_i, i \in Q$ по убыванию, то есть

$$\varepsilon_{i_1} > \varepsilon_{i_2} > \dots > \varepsilon_{i_n}. \quad (6)$$

Множество предприятий-победителей конкурса есть

$$Q' = \{i_k: k \leq m'\}, \text{ где } m' < n.$$

Процедура распределения финансовых средств после определения множества победителей имеет вид

$$V_{i_k} = \begin{cases} s_{i_k}, & \text{если } 1 \leq i_k \leq m', \\ R_0 - \sum_{k=1}^{m'} s_{i_k} - V_0(n - m' - 2), & \text{если } i_k = m' + 1, \\ V_0, & \text{если } m' + 2 \leq i_k \leq n. \end{cases}$$

В особом положении при этом находится предприятие с номером $m' + 1$. Оно является лучшим среди проигравших конкурс, и поэтому может получить финансовых средств несколько больше чем V_0 .

Как сказано выше, в рассматриваемой модели предусмотрено наказание предприятия за недостижение (или за завышение) ожидаемого эффекта, поэтому целевая функция i -го предприятия имеет вид $\tilde{f}_i = f_i - \chi_i$, или

$$\tilde{f}(r_i, V_i) = V_i \left(1 - \frac{r_i}{2r_i} \right) - \begin{cases} \mu(\varepsilon_i - \sqrt{r_i V_i}), & \text{если } \varepsilon_i - \sqrt{r_i V_i} > 0 \\ 0, & \text{если } \varepsilon_i - \sqrt{r_i V_i} \leq 0 \end{cases}. \quad (7)$$

В игре важным моментом является процедура определения победителей конкурса. Очевидно, что в каждой партии игры количество победителей может быть разное. Действительно, если центр первоначально определяет минимальный размер финансовых средств V_0 для предприятий, не вошедших в число победителей, то количество победителей можно определить в соответствии со следующей процедурой. Из упорядоченных оценок эффективности (6)

выбирается максимальное число предприятий m' , для которых справедливо неравенство

$$\sum_{k=1}^{m'} s_{i_k} < R_0 - V_0(n - m'), \quad (8)$$

и это число m' определяет количество победителей в данной партии игры.

Из процедуры определения победителей в общем случае следует, что возможен случай, когда имеется лишь один победитель конкурса, но и он не получает запрашиваемого количества финансовых средств, т.е. (8) в этом случае имеет вид $R_0 - V_0(n - 1) < s_{i_1}$. В этом случае победителем конкурса объявляется предприятие под номером i_1 и ему передается весь остаток финансовых средств.

Подробный анализ формальной модели конкурсного механизма приведен в [20]. Здесь отметим лишь, что для целевой функции вида (7) равновесная по Нэшу ситуация существует, причем вид ситуации равновесия определяется величиной коэффициента μ в функции штрафа $\chi_i(\cdot)$. Величина μ определяет сильный штраф для i -го предприятия, если ему в любой ситуации, оказывается, невыгодно отклоняться от заявленной величины ожидаемого эффекта ε_i . В случае же слабого штрафа предприятие может отклониться от оценки ожидаемого эффекта и при этом выиграть больше, чем, если бы он придерживался условия $\varepsilon_i = \sqrt{r_i V_i}$.

Каждая партия игры проводится в четыре этапа. На первом этапе участники игры сообщают в центр свои заявки на финансирование s_i и ожидаемый эффект ε_i от выполнения работ по обеспечению требуемого уровня безопасности.

Второй этап – этап определения участников-победителей. На этом этапе центр на основе полученных заявок определяет участников-победителей с наибольшими оценками эффективности.

На этапе распределения (третий этап) центр на основе полученных оценок рассчитывает объем финансирования V_i для участников игры.

На четвертом этапе – участники, получив свой объем финансирования, подсчитывают значения своих целевых функций.

На этом партия считается законченной, и следует переходить к следующей партии. То есть участники вновь сообщают в центр заявки на финансирование, центр обрабатывает полученную информацию и т.д.

Партии игры повторяется до тех пор, пока достаточно явно не проявится стратегия поведения участников игры.

Игровой эксперимент по конкурсному распределению финансовых средств, проводился не с автоматами, а с реальными игроками. Одной из причин привлечения реальных игроков, несмотря на серьезные организационные сложности, является отсутствие достаточно хорошо обоснованной гипотезы поведения человека в подобной ситуации, именно в случае, когда он может «играть» на двух типах информации. И, как следствие этого, отсутствует соответствующий алгоритм поведения автомата.

В игре участвовали четыре игрока, значения коэффициентов r_i , r_i и R_0 такие же, как и в предыдущих экспериментах. Кроме того, $V_0 = 0,1$ и $\mu = 0,5$.

Эксперимент с реальными игроками занимает существенно больше времени, причем как времени проведения одной партии игры, так и времени проведения всего игрового эксперимента. Это связано с тем, что скорость сходимости в равновесную ситуацию, если она существует, в экспериментах, проводимых с реальными игроками, как правило, ниже, чем в играх с автоматами. Поэтому результаты проведения эксперимента представлены сначала в виде таблиц (см. табл. 4.15) характеризующих развитие ситуации в первых десяти партиях, а затем в виде графиков по результатам шестидесяти четырех партий.

Т а б л и ц а 4.15. Результаты проведения десяти партий игры

Партия № 1	Номер игрока	1	2	3	4
	Заявка на финансирование	0,600	0,500	0,400	0,300
	Оценка эффе́кта	1,000	0,970	0,820	0,640
	Эффе́ктивность	1,667	1,940	2,050	2,133
	Место в конкурсе	4	3	2	1
	Полученные средства	0,100	0,200	0,400	0,300
	Уровень безопасности	0,447	0,616	0,825	0,648
	Штра́ф				
	Целевая функция	0,033	0,073	0,264	0,216

Партия № 2	Номер игрока	1	2	3	4
	Заявка на финансирование	0,550	0,430	0,450	0,370
	Оценка эффе́кта	1,000	0,900	0,860	0,700
	Эффе́ктивность	1,818	2,093	1,911	1,892
	Место в конкурсе	4	1	2	3
	Полученные средства	0,100	0,430	0,370	0,100
	Уровень безопасности	0,447	0,904	0,793	0,374
	Штра́ф				
	Целевая функция	0,033	0,158	0,244	0,072

Партия № 3	Номер игрока	1	2	3	4
	Заявка на финансирование	0,450	0,460	0,440	0,330
	Оценка эффекта	0,950	0,920	0,850	0,690
	Эффективность	2,111	2,000	1,932	2,091
	Место в конкурсе	1	3	4	2
	Полученные средства	0,450	0,120	0,100	0,330
	Уровень безопасности	0,949	0,477	0,412	0,680
	Штраф	0,001			0,005
	Целевая функция	0,149	0,044	0,066	0,232

Партия № 4	Номер игрока	1	2	3	4
	Заявка на финансирование	0,460	0,470	0,440	0,350
	Оценка эффекта	0,960	0,900	0,800	0,740
	Эффективность	2,087	1,915	1,818	2,114
	Место в конкурсе	2	3	4	1
	Полученные средства	0,450	0,100	0,100	0,350
	Уровень безопасности	0,949	0,436	0,412	0,700
	Штраф				0,020
	Целевая функция	0,150	0,037	0,066	0,232

Партия № 5	Номер игрока	1	2	3	4
	Заявка на финансирование	0,470	0,440	0,410	0,350
	Оценка эффекта	0,970	0,910	0,820	0,710
	Эффективность	2,064	2,068	2,000	2,029
	Место в конкурсе	2	1	4	3
	Полученные средства	0,360	0,440	0,100	0,100
	Уровень безопасности	0,849	0,914	0,412	0,374
	Штраф				
	Целевая функция	0,120	0,161	0,066	0,072

Партия № 6	Номер игрока	1	2	3	4
	Заявка на финансирование	0,470	0,450	0,400	0,340
	Оценка эффекта	0,990	0,920	0,830	0,690
	Эффективность	2,106	2,044	2,075	2,029
	Место в конкурсе	1	3	2	4
	Полученные средства	0,140	0,450	0,100	0,310
	Уровень безопасности	0,529	0,925	0,412	0,659
	Штраф	0,010			
	Целевая функция	0,146	0,037	0,218	0,072

Партия № 7	Номер игрока	1	2	3	4
	Заявка на финансирование	0,475	0,450	0,400	0,310
	Оценка эффекта	0,990	0,950	0,820	0,670
	Эффективность	2,084	2,111	2,050	2,161
	Место в конкурсе	3	2	4	1
	Полученные средства	0,140	0,450	0,100	0,310
	Уровень безопасности	0,529	0,925	0,412	0,659
	Штраф	0,000	0,013	0,000	0,006
	Целевая функция	0,047	0,152	0,066	0,218

Партия № 8	Номер игрока	1	2	3	4
	Заявка на финансирование	0,450	0,455	0,390	0,300
	Оценка эффекта	0,960	0,940	0,820	0,660
	Эффективность	2,133	2,066	2,103	2,200
	Место в конкурсе	2	4	3	1
	Полученные средства	0,450	0,100	0,150	0,300
	Уровень безопасности	0,949	0,436	0,505	0,648

	Штраф	0,006			0,006
	Целевая функция	0,144	0,037	0,099	0,210

Партия № 9	Номер игрока	1	2	3	4
	Заявка на финансирование	0,450	0,420	0,380	0,310
	Оценка эффекта	0,960	0,900	0,820	0,670
	Эффективность	2,133	2,143	2,158	2,161
	Место в конкурсе	4	3	2	1
	Полученные средства	0,100	0,210	0,380	0,310
	Уровень безопасности	0,447	0,632	0,804	0,659
	Штраф			0,008	0,006
	Целевая функция	0,033	0,077	0,243	0,218

Партия № 10	Номер игрока	1	2	3	4
	Заявка на финансирование	0,420	0,400	0,390	0,320
	Оценка эффекта	0,930	0,880	0,820	0,670
	Эффективность	2,214	2,200	2,103	2,094
	Место в конкурсе	1	2	3	4
	Полученные средства	0,420	0,380	0,100	0,100
	Уровень безопасности	0,917	0,850	0,412	0,374
	Штраф	0,007			
	Целевая функция	0,133	0,139	0,066	0,072

Из табл. 4.15 следует, что в своих поступках игроки руководствуются как бы двумя критериями: войти в число победителей конкурса; минимизировать штрафы за завышенную оценку ожидаемого эффекта. В начале игры, в каждой партии имеются, как правило, два победителя конкурса и два проигравших, заявки на финансирование почти в полтора раза превышают распределяемые финансовые средства. В конце игры ситуация меняется – заявки на финансирование соизмеримы с величиной распределяемых финансовых средств, число победителей конкурса увеличивается. На рис. 4.57 представлен график изменения заявок на финансирование деятельности по достижению и поддержанию требуемого уровня безопасности.

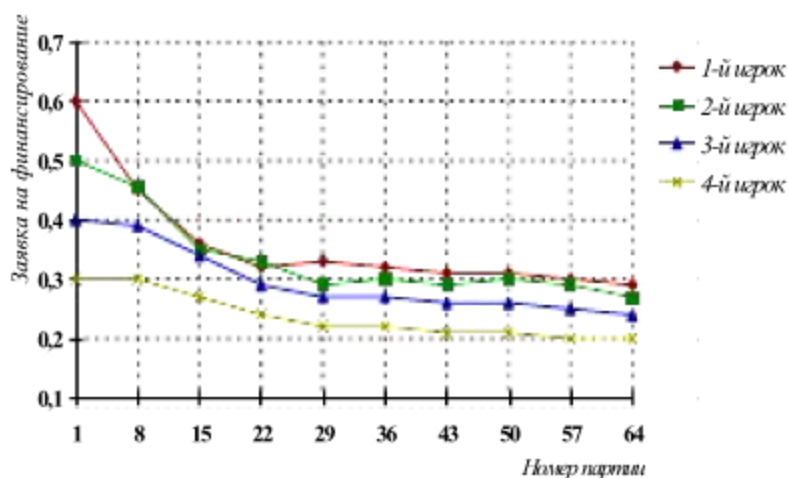


Рис. 4.57

Соответственно на рис. 4.58 изображен график изменения оценок ожидаемого эффекта от использования запрашиваемых финансовых средств.

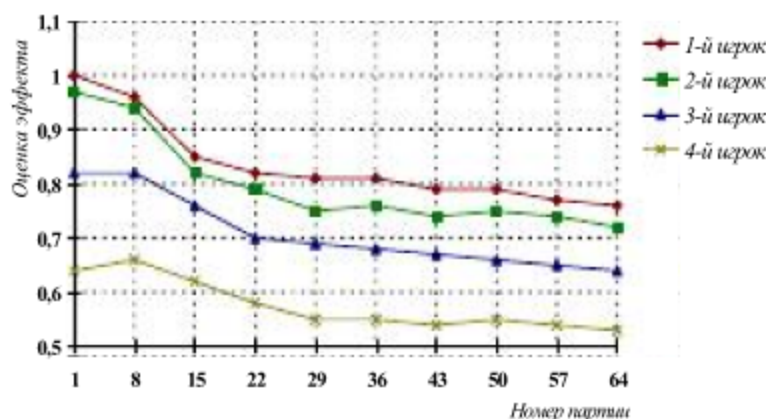


Рис. 4.58

График изменение общего уровня безопасности в системе, состоящей из четырех предприятий, при конкурсном распределении финансовых средств представлен на рис. 4.59.

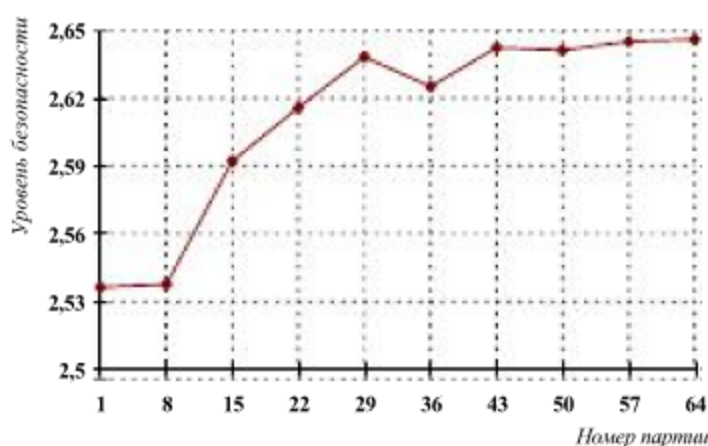


Рис. 4.59

Сравнение этого результата с результатами двух предыдущих экспериментов показывает, что в конкурсном механизме общий уровень безопасности при одних и тех же характеристиках предприятий и одной и той же величине финансовых средств оказался наибольшим.

Результаты проведенных экспериментов показывают, что пропорциональное распределение централизованного фонда приводит к неоправданному росту заявок и снижает эффективность всего механизма распределения. Конкурс при распределении централизованного фонда повышает эффективность этого механизма и обеспечивает получение информации, близкой к достоверной.

4.5. ИМИТАЦИОННАЯ ИГРА «МЕХАНИЗМЫ КОМПЕНСАЦИИ ЗАТРАТ НА СНИЖЕНИЕ УРОВНЯ РИСКА»

В настоящем разделе, так же, как и в рассмотренных выше играх, предполагается, что затраты i -го предприятия на достижение уровня безопасности y_i определяются выражением (1) раздела 4.2. Каждому предприятию компенсируются его затраты на обеспечение заданного уровня безопасности, причем размер компенсации определяется выражением

$$\hat{\varphi}_i = \frac{y_i^2}{2s_i}. \quad (1)$$

Целевой функцией предприятия является разность получаемых средств (1) и фактически затраченных, то есть:

$$f_i = \hat{\varphi}_i - \varphi_i = \frac{y_i^2}{2s_i} - \frac{y_i^2}{2r_i} = \frac{y_i^2}{2} \left(\frac{1}{s_i} - \frac{1}{r_i} \right). \quad (2)$$

Ниже приводятся результаты игрового эксперимента, в котором участвовали четыре игрока ($n = 4$), а исходные данные такие же, как в рассмотренных выше экспериментах. То есть $X = 3$, $r_1 = 1,5$, $r_2 = 1,5$, $r_3 = 2,5$, $r_4 = 2,5$, $\gamma_1 = 0,3$, $\gamma_2 = 0,5$, $\gamma_3 = 0,2$, $\gamma_4 = 0,4$, $M = 1$ и $s_i \in [0,4; 4]$. Задача участников игры заключается в максимизации разности полученной компенсации и фактически потраченных средств на достижение требуемого уровня безопасности. Стратегии игроков для этого варианта игры представлены на графике, изображенном на рис. 4.60.

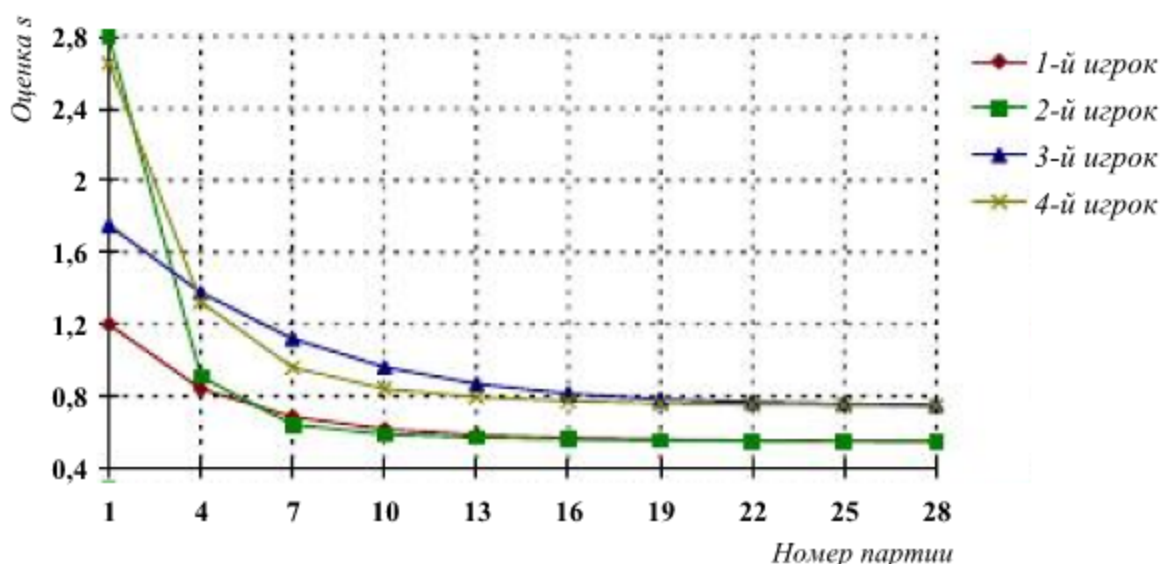


Рис. 4.60

Из графиков следует, что стратегии игроков сошлись в равновесную ситуацию и $s_1^* = s_2^* = 0,55$, а $s_3^* = s_4^* = 0,75$. Теоретическое исследование модели (при выполнении гипотезы слабого влияния) показало, что в ситуации равновесия все предприятия сообщают оценку $s_i^* = r_i / 2$, то есть в два раза завышают оценку величины упущенной выгоды при отвлечении средств на обеспечение требуемого уровня безопасности. Таким образом, расхождение равновесных значений s_i^* и теоретически предсказанных значений равновесных оценок составило для первых двух игроков 6,7 % и 10 % для других двух игроков. Сумма средств, выплачиваемая предприятиям при механизме компенсации равна 1,73, в то время как сумма средств, выплачиваемая предприятиям при действии механизма стимулирования равна 1,74.

Проведение аналогичных игровых экспериментов, но только с участием восьми игроков, при условии, что $X = 6$, $r_1 = 1,5$, $r_2 = 1,5$, $r_3 = 2,5$, $r_4 = 2,5$, $r_5 = 1,5$, $r_6 = 1,5$, $r_7 = 2,5$, $r_8 = 2,5$, $\gamma_1 = 0,3$, $\gamma_2 = 0,5$, $\gamma_3 = 0,2$, $\gamma_4 = 0,4$, $\gamma_5 = 0,3$, $\gamma_6 = 0,5$, $\gamma_7 = 0,2$, $\gamma_8 = 0,4$, $s_i \in [0,4; 4]$, дали следующие результаты. Сумма средств, выплачиваемая предприятиям при механизме компенсации, равна 2,65, что совпадает с суммой средств, выплачиваемых предприятиям при действии механизма стимулирования. Стратегии игроков представлены на графике, изображенном на рис. 4.61.

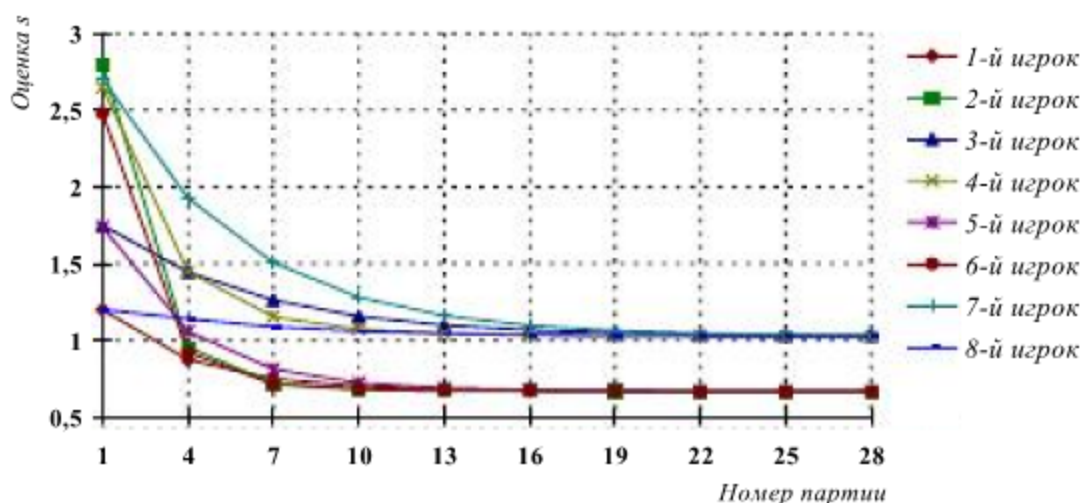


Рис. 4.61

Видно, что стратегии игроков в ситуации равновесия $s_1^* = s_2^* = s_5^* = s_6^* = 0,67$, а $s_3^* = s_4^* = s_7^* = s_8^* = 1,03$. Расхождение равновесных значений s_i^* и значений теоретически рассчитанных рав-

новесных оценок составило для первого, второго, четвертого и пятого игроков 2,7 % и 4,5 % для остальных игроков.

Интерес также представляют результаты, полученные для случая формирования планового уровня безопасности при наличии ограничений на величину планового уровня отдельного предприятия.

Для случая, когда в игровом эксперименте участвовали четыре автомата, при тех же исходных условиях изменение стратегии их поведения представлено на рис. 4.62.

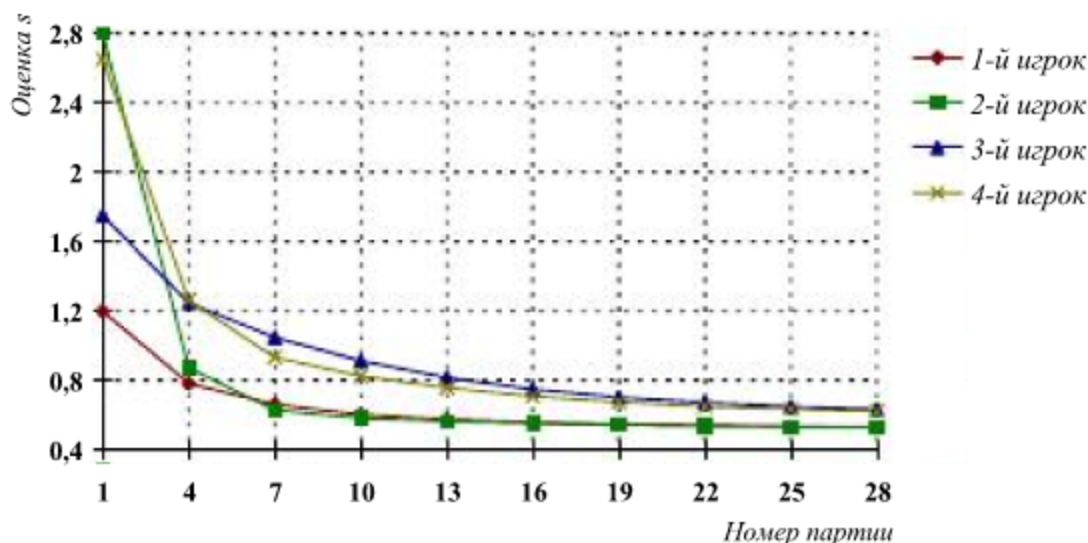


Рис. 4.62

Видно, что в равновесной ситуации стратегии автоматов отличаются от стратегий в аналогичной ситуации при менее жестких ограничений на y_i . Суммарные затраты на компенсацию в этом случае составили 1,94, что превышает аналогичные затраты на 11,5 % для предыдущего случая.

На рис. 4.63 представлен график изменения стратегии автоматов, при проведении экспериментов с восемью участниками игры.

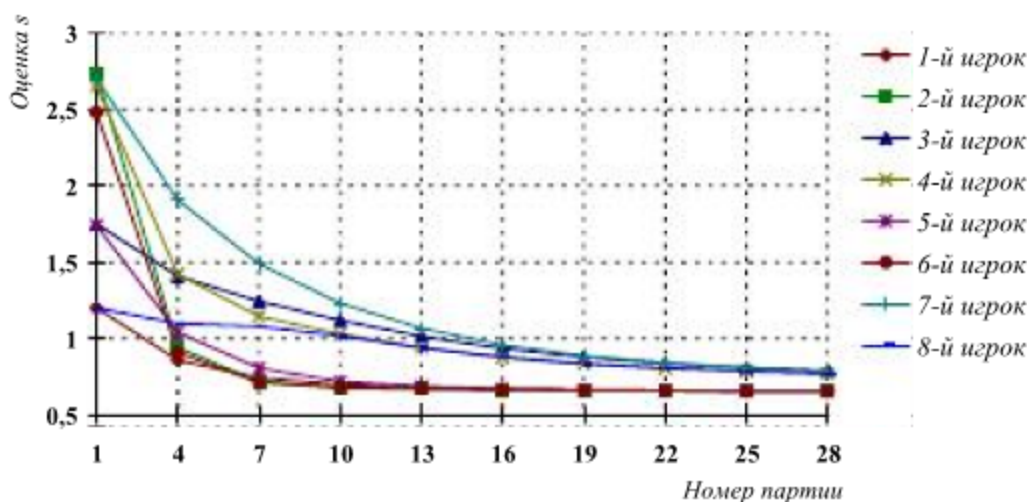


Рис. 4.63

Ситуация, в которую сошлись автоматы при том же положении цели, что и в предыдущем случае, характеризуется тем, что сумма компенсации составила 3,14. В то время как при ограничении на величину планового уровня безопасности отдельного предприятия $M = 1$, размер компенсации составлял 2,65. То есть, рост составил 18,5 %.

4.6. ИМИТАЦИОННАЯ ИГРА «МЕХАНИЗМЫ ПРОДАЖИ КВОТ НА УРОВЕНЬ РИСКА»

Принципиальное отличие описываемой в настоящем разделе игры от игр, рассмотренных в настоящей главе выше, заключается в том, что в модели этой игры отражена зависимость объема выпускаемой продукции и уровня безопасности. И, как следствие, показано влияние требований к безопасности на прибыль предприятия.

В модели рассматривается регион, на территории которого расположены промышленные предприятия. Хозяйственная деятельность предприятий оказывает существенное влияние на уровень безопасности региона.

Ответственность за безопасность региона возложена на местные органы власти (центр). Полномочия, которыми располагает, центр следующие: распределение между предприятиями централизованного фонда на природоохранную деятельность, формирование квот на загрязнение и наложение штрафа на предприятия за превышение квот.

С помощью игры проводится сравнительный анализ уровня безопасности в регионе при действии различных экономических регуляторов.

В данной игре роль центра сводится к выбору такого экономического механизма, который позволяет поддерживать требуемый уровень безопасности и обеспечивает выпуск необходимого объема продукции.

Введем следующие обозначения: q_i – объем продукции, обеспечивающий i -му предприятию минимальную себестоимость, u_i – объем продукции, выпускаемый на i -м предприятии, r_i – минимальная себестоимость, x_i – квота на УБ, полученная i -м предприятием; y_i – фактический УБ, связанный с деятельностью i -го предприятия.

Целевая функция (прибыль) i -го предприятия:

$$f_i = c_i u_i - \frac{1}{2} r_i q_i \left(\frac{u_i^2}{r_i^2} + 1 \right).$$

В модели предполагается, что уровень риска на предприятии возрастает с ростом объема выпуска продукции и понижается с ростом размеров средств, направляемых на проведение мероприятий по поддержанию УБ: $y_i = \frac{du_i}{1 + bv_i}$, где d и b – известные коэффициенты. Функция штрафа за превышение разрешенного уровня риска

$$\chi_i = \begin{cases} \mu(y_i - x_i), & \text{если } y_i \geq x_i \\ 0, & \text{если } y_i < x_i \end{cases}.$$

Остаточная прибыль i -го предприятия определяется выражением

$$\Pi_i = f_i - \chi_i - I v_i,$$

где $I = 0$, если средства, направляемые на обеспечение безопасности, поступают из централизованных фондов, и $I = 1$, если средства выделяются из прибыли предприятия.

Рассмотрим два способа управления уровнем безопасности в регионе. Первый способ представляет собой распределение квот R на допустимый уровень риска между предприятиями региона. Вторым способом заключается в распределении централизованного фонда R_0 на обеспечение безопасности.

Предположим сначала, что квоты на уровень риска и централизованное финансирование отсутствуют. Тогда целевая функция i -го игрока может быть представлена в виде

$$\Pi_i = c_i u_i - \frac{1}{2} r_i q_i \left(\frac{u_i^2}{r_i^2} + 1 \right) - d \mu u_i.$$

Величину $d \mu u_i$ можно уже рассматривать не как функцию штрафа, а как плату за риск. Оптимальный объем выпуска продукции, позволяющий получить максимум прибыли определяется выражением $u_i = \frac{r_i(c_i - d \mu)}{q_i}$. Очевидно, что всегда должно выполняться условие $c_i > d \mu$. Прибыль i -го игрока будет равна $\Pi_i = \frac{1}{2} r_i q_i (c_i - d \mu - q_i^2)$, а уровень риска от деятельности i -го

предприятия: $y_i = \frac{dr_i(c_i - d\mu)}{q_i}$. Соответственно общий объем вы-

пуска продукции в регионе будет $U = \sum_{i=1}^n \frac{r_i c_i}{q_i} - d\mu \sum_{i=1}^n \frac{r_i}{q_i}$, а ожидае-

мый ущерб в регионе: $W = d \sum_{i=1}^n W_i \frac{r_i c_i}{q_i} - d\mu \sum_{i=1}^n W_i \frac{r_i}{q_i}$ —

Предположим теперь, что для региона задан общий уровень риска R и между предприятиями региона распределяются квоты x_i , $i \in Q$, из условия, что $\sum_{i=1}^n x_i = R$.

В игре рассматриваются два варианта определения квот: 1) механизм пропорционального распределения; 2) конкурсный механизм.

Механизм пропорционального распределения квот записывается

$$\text{в виде } x_i = \begin{cases} s_i, & \text{если } \sum_{j=1}^n s_j \leq R, \\ \frac{s_i}{\sum_{j=1}^n s_j} R, & \text{если } \sum_{j=1}^n s_j > R. \end{cases}$$

При конкурсном распределении квот заявки сначала упорядочиваются по возрастанию. Не ограничивая общности, будем считать $s_1 < s_2 < s_3 < \dots < s_n$. После этого определение квот осуществляется следующим образом.

$$\begin{aligned} &\text{Если } s_1 \leq R, \quad \text{то} \quad x_1 = s_1; \\ &\quad s_2 \leq R - x_1, \quad x_2 = s_2; \\ &\quad \dots \\ &\quad s_k \leq R - \sum_{j=1}^{k-1} x_j, \quad x_k = s_k; \\ &\quad s_{k+1} > R - \sum_{j=1}^k x_j, \quad x_{k+1} = R - \sum_{j=1}^k x_j. \end{aligned}$$

Принципы распределения централизованного фонда R_0 на природоохранную деятельность такие же, как и при распределении квот на загрязнение: пропорциональное распределение и конкурсный механизм.

Игра проводилась при следующих условиях: $n = 4$; $q_1 = q_2 = q_3 = q_4 = 10$; $c_1 = c_2 = c_3 = c_4 = 15$; $d = 0,3$; $b = 0,005$; $\mu = 20$; $R = 100$; $r_1 = r_2 = 80$; $r_3 = r_4 = 120$.

Пропорциональное распределение квот

Партия №1

Номер игрока	1	2	3	4	Сумма
Заявка на квоты	30.0	40.0	50.0	60.0	180.0
Квоты	17.0	22.0	28.0	33.0	100.0
Объем выпуска	72.0	72.0	108.0	108.0	360.0
Уровень риска	22.0	22.0	32.0	32.0	108.0
Штраф	98.7	0.0	92.4	0.0	191.1
Прибыль	257.0	356.0	442.0	534.0	1589.0

Партия №2

Номер игрока	1	2	3	4	Сумма
Заявка на квоты	45.0	50.0	90.0	80.0	265.0
Квоты	17.0	19.0	34.0	30.0	100.0
Объем выпуска	72.0	72.0	108.0	108.0	360.0
Уровень риска	22.0	22.0	32.0	32.0	108.0
Штраф	92.4	54.6	0.0	44.2	191.2
Прибыль	264.0	301.0	534.0	490.0	1589.0

Партия №3

Номер игрока	1	2	3	4	Сумма
Заявка на квоты	60.0	80.0	110.0	120.0	370.0
Квоты	16.0	22.0	30.0	32.0	100.0
Объем выпуска	72.0	72.0	108.0	108.0	360.0
Уровень риска	22.0	22.0	32.0	32.0	108.0
Штраф	107.7	0.0	53.4	0.0	161.1
Прибыль	248.0	356.0	481.0	534.0	1519.0

Партия №4

Номер игрока	1	2	3	4	Сумма
Заявка на квоты	75.0	80.0	115.0	120.0	390.0
Квоты	19.0	21.0	29.0	31.0	100.0
Объем выпуска	72.0	72.0	108.0	108.0	360.0
Уровень риска	22.0	22.0	32.0	32.0	108.0
Штраф	47.4	21.7	58.3	32.6	160.0
Прибыль	309.0	334.0	476.0	501.0	1620.0

Результаты проведенных четырех партий игры показывают, что для рассматриваемой ситуации уровень риска в регионе определяется не процедурой распределения квот, а зависит от общего объема квот и величины штрафов за превышение разрешенного уровня риска. Игра показывает, что при пропорциональном распределении растет лишь объем заявок на квоты.

Конкурсный механизм распределения квот

Партия №1

Номер игрока	1	2	3	4	Сумма
Заявка на квоты	30.0	40.0	50.0	60.0	180.0
Квоты	30.0	40.0	30.0	0.0	100.0
Объем выпуска	72.0	120.0	108.0	108.0	408.0
Уровень риска	22.0	36.0	32.0	32.0	122.0
Штраф	0.0	0.0	48.0	648.0	696.2
Прибыль	356.0	500.0	486.0	-114.0	1228.0

Партия №2

Номер игрока	1	2	3	4	Сумма
Заявка на квоты	25.0	40.0	45.0	50.0	160.0
Квоты	25.0	40.0	35.0	0.0	100.0
Объем выпуска	72.0	120.0	108.0	108.0	408.0
Уровень риска	22.0	36.0	32.0	32.0	122.0
Штраф	0.0	0.0	0.0	648.0	648.0
Прибыль	356.0	500.0	534.0	-114.0	1276.0

Партия №3

Номер игрока	1	2	3	4	Сумма
Заявка на квоты	25.0	40.0	35.0	38.0	138.0
Квоты	25.0	2.0	35.0	38.0	100.0
Объем выпуска	72.0	72.0	108.0	108.0	360.0
Уровень риска	22.0	22.0	32.0	32.0	108.0
Штраф	0.0	392.0	0.0	0.0	392.0
Прибыль	356.0	-36.0	534.0	534.0	1388.0

Партия №4

Номер игрока	1	2	3	4	Сумма
Заявка на квоты	25.0	37.0	35.0	38.0	135.0
Квоты	25.0	37.0	35.0	3.0	100.0
Объем выпуска	72.0	120.0	108.0	108.0	408.0
Уровень риска	22.0	36.0	32.0	32.0	122.0
Штраф	0.0	0.0	0.0	588.0	588.0
Прибыль	356.0	500.0	534.0	-54.0	1336.0

Партия №5

Номер игрока	1	2	3	4	Сумма
Заявка на квоты	25.0	37.0	35.0	35.0	132.0
Квоты	25.0	5.0	35.0	35.0	100.0
Объем выпуска	72.0	72.0	108.0	108.0	360.0
Уровень риска	22.0	22.0	32.0	32.0	108.0
Штраф	0.0	332.0	0.0	0.0	332.0
Прибыль	356.0	24.0	534.0	534.0	1448.0

...

Партия №8

Номер игрока	1	2	3	4	Сумма
Заявка на квоты	22.0	22.0	32.0	32.0	108.0
Квоты	22.0	22.0	32.0	24.0	100.0
Объем выпуска	72.0	72.0	108.0	108.0	360.0
Уровень риска	22.0	22.0	32.0	32.0	108.0
Штраф	0.0	0.0	0.0	168.0	168.0
Прибыль	356.0	356.0	526.0	366.0	1604.0

Результаты проведения игры при конкурсном распределении квот подтверждают предыдущие выводы о том, что уровень риска по региону в целом и общий объем выпускаемой продукции определяются только суммарным размером квот и величиной штрафа.

В то же время, для случая, когда игроки часть своей прибыли используют на природоохранную деятельность (на обеспечение заданного уровня риска) ситуация меняется.

В предлагаемом варианте игры первые два предприятия получили квоты по 20 условных единиц, а два других предприятия – по 30 условных единиц. Таким образом, суммарный размер квот составляет 100 единиц. Все остальные параметры модели остаются прежними.

В таблице часть прибыли, направляемая на природоохранную деятельность, записываются в графе «Затраты».

Партия №1

Номер игрока	1	2	3	4	Сумма
Затраты	30.0	40.0	50.0	60.0	180.0
Объем выпуска	78.0	80.0	122.0	125.0	405.0
Уровень риска	19.6	20.0	29.0	29.0	97.6
Штраф	8.3	0.0	0.0	0.0	8.3
Прибыль	353.0	360.0	562.0	562.0	1837.0

Партия №2

Номер игрока	1	2	3	4	Сумма
Затраты	40.0	50.0	60.0	70.0	220.0
Объем выпуска	80.0	82.0	125.0	127.0	414.0
Уровень риска	20.0	20.0	29.0	28.0	97.0
Штраф	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Прибыль	360.0	358.0	562.0	561.0	1841.0

Партия №3

Номер игрока	1	2	3	4	Сумма
Затраты	43.0	41.0	60.0	58.0	202.0
Объем выпуска	80.0	80.0	125.0	124.0	409.0

Уровень риска	20.0	20.0	29.0	29.0	98.0
Штраф	0.0	0.0	0.0	0.0	8.3
Прибыль	359.0	359.0	562.0	562.0	1842.0

Партия №4

Номер игрока	1	2	3	4	Сумма
Затраты	42.0	41.0	55.0	50.0	188.0
Объем выпуска	80.0	80.0	124.0	122.0	406.0
Уровень риска	20.0	20.0	29.0	29.0	98.0
Штраф	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Прибыль	360.0	360.0	562.0	562.0	1844.0

Из приведенных результатов следует, что в третьем варианте игры уровень риска в регионе понизился более чем на 9 % по сравнению с первыми двумя вариантами. А объем суммарного выпуска увеличился более чем на 12 %.

Результаты проведенного имитационного эксперимента показывают, что пропорциональное распределение централизованного фонда приводит к неоправданному росту заявок и снижает эффективность всего механизма распределения. Конкурс при распределении централизованного фонда повышает эффективность этого механизма и обеспечивает получение информации близкой к достоверной.

Разработанная система игрового имитационного моделирования для оценки эффективности механизмов управления ЭкЭС позволяет в достаточно простой и, в то же время, наглядной форме продемонстрировать особенности разрабатываемых механизмов, их достоинства и недостатки, определить направления работ для их «доводки» до конкретных условий конкретных объектов.

* * *

Проведенные исследования свидетельствуют, что многие модели механизмов управления, созданные в рамках теории управления организационными и социально-экономическими системами (см., например, [98]), могут (с соответствующей адаптацией) эффективно использоваться при разработке и исследовании моделей механизмов управления ЭкЭС. Поэтому «перенос» и развитие соответствующих результатов (в первую очередь, наверное, моделей информационного управления [93, 100] и динамических моделей адаптации экономических субъектов [93]) является одним из перспективных направлений дальнейших исследований.

Другим таким направлением, несомненно, является разработка и идентификация новых механизмов, адекватно учитывающих специфику ЭкЭС различного масштаба.

Третьим направлением является интеграция результатов моделирования механизмов управления ЭкЭС и подходов различных научных направлений, имеющих предметом исследований ЭкЭС (см. введение).

И, наконец, актуальным является массовое внедрение (при наличии соответствующих институциональных условий) и проверка эффективности организационных и экономических механизмов управления ЭкЭС, их настройка к конкретным условиям функционирования регионов и предприятий.

Литература к части 4

1. Абалкина И.Л. Страхование экологических рисков (из практики США). – М.: Инфра-М, 1998. – 88 с.
2. Авалиани С.Л., Голуб А.А., Струкова Е.Б., Шапошников Д.А. Основные положения методических рекомендаций по анализу эффективности мероприятий по охране атмосферного воздуха на основе расчета затрат на сокращение риска // Укрепление экологических фондов и система управления природоохранной деятельностью. – М.: Высшая школа, 1998. Часть 2. С. 32 – 80.
3. Автономов В.С. Модель человека в экономической науке. – СПб.: Экономическая школа, 1998. – 230 с.
4. Акимова Т.В., Хаскин В.В. Экономика природы и человека. – М.: Экономика, 2006. – 334 с.
5. Ананенков А.Г., Ставкин Г.П., Андреев О.П., Хабибуллин И.Л., Лобастова С.А. Эколого-экономическое управление охраной окружающей среды. – М.: УРСС, 2003. – 228 с.
6. 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.
7. Андронникова Н.Г., Бурков В.Н., Леонтьев С.В. Комплексное оценивание в задачах регионального управления. – М.: ИПУ РАН, 2002. – 54 с.

8. Анохин А.М., Глотов В.А., Павельев В.В., Черкашин А.М. Комплексное оценивание: принцип бинарности и его приложения. – М.: ИПУ РАН, 1994. – 48 с.
9. Ансоф И. Стратегическое управление. – М.: Экономика, 1989. – 519 с.
10. Архипова Н.И., Кульба В.В. Управление в чрезвычайных ситуациях. – М.: РГГУ, 1998. – 316 с.
11. Атабиев А.Х. Экологическое страхование в обеспечении экологической безопасности региона. – М.: Институт проблем рынка РАН, 1998. – 33 с.
12. Багриновский К.А., Лемешев М.Я. О планировании экономического развития с учетом требований экологии // Экономика и математические методы. 1976. № 4. С. 681 – 691.
13. Барабанов И.Н., Новиков Д.А. Механизмы управления риском в динамической модели эколого-экономической системы // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. 1994. № 10. С. 19 – 26.
14. Блачев Р.Н., Семенов И.Б. Оценка социально-экономических последствий чрезвычайных событий // Вопросы экономики. 1991. № 1. 1991. С. 59 – 63.
15. Боголюбов С.А. Экологическое право. – М.: Норма, 2001. – 397 с.
16. Бурков В.Н. Основы математической теории активных систем. – М.: Наука, 1977. – 255 с.
17. Бурков В.Н., Грацианский Е.В., Дзюбко С.И., Щепкин А.В. Модели и механизмы управления безопасностью. – М.: Синтез, 2001. – 160 с.
18. Бурков В.Н., Грацианский Е.В., Еналеев А.К., Умрихина Е.В. Организационные механизмы управления научно-техническими программами. – М.: ИПУ РАН, 1993. – 64 с.
19. Бурков В.Н., Грищенко А.Ф., Кулик О.С. Задачи оптимального управления промышленной безопасностью. – М.: ИПУ РАН, 2000. – 70 с.
20. Бурков В.Н., Данев Б., Еналеев А.К. и др. Большие системы: моделирование организационных механизмов. – М.: Наука, 1989. – 245 с.
21. Бурков В.Н., Джавахадзе Г.С., Динова Н.И., Щепкин Д.А. Применение игрового имитационного моделирования для оценки

эффективности экономических механизмов. – М.: ИПУ РАН, 2003. – 51 с.

22. Бурков В.Н., Заложнев А.Ю., Леонтьев С.В., Новиков Д.А. Механизмы финансирования программ регионального развития. – М.: ИПУ РАН, 2002. – 54 с.

23. Бурков В.Н., Заложнев А.Ю., Новиков Д.А. Механизмы страхования в социально-экономических системах. – М.: ИПУ РАН, 2001. – 109 с.

24. Бурков В.Н., Заложнев А.Ю., Новиков Д.А. Теория графов в управлении организационными системами. – М.: Синтег, 2001. – 124 с.

25. Бурков В.Н., Заложнев А.Ю., Новиков Д.А. Управление риском: механизмы взаимного и смешанного страхования // Автоматика и Телемеханика. 2001. № 10. С. 125 – 131.

26. Бурков В.Н., Кондратьев В.В. Механизмы функционирования организационных систем. – М.: Наука, 1981. – 384 с.

27. Бурков В.Н., Кондратьев В.В., Цыганов В.В., Черкашин А.М. Теория активных систем и совершенствование хозяйственного механизма. – М. Наука, 1984. – 272 с.

28. Бурков В.Н., Новиков Д.А. Как управлять проектами. – М.: Синтег, 1997. – 188 с.

29. Бурков В.Н., Новиков Д.А. Страхование: оптимизация и перераспределение риска // Инвестиционный эксперт. 1997. № 5. С. 24 – 27.

30. Бурков В.Н., Щепкин А.В. Механизмы обеспечения безопасности: оценка эффективности // Вопросы экономики. 1991. № 1. С. 52 – 58.

31. Бурков В.Н., Щепкин А.В. Моделирование экономических механизмов обеспечения безопасности // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. 2000. № 6. С. 55 – 68.

32. Бурков В.Н., Щепкин А.В. Экологическая безопасность. – М.: ИПУ РАН, 2003. – 92 с.

33. Быков А.А. Оценка и сравнительный анализ риска для здоровья населения от загрязнения окружающей среды в городах России // Вопросы анализа риска. 1999. Т. 1. № 2-4. С. 28 – 79.

34. Васин А.А. Некооперативные игры в природе и обществе. – М.: МАКС Пресс, 2005. – 412 с.

35. Воронин А.А., Губко М.В., Мишин С.П., Новиков Д.А. Математические модели организаций. – М.: Ленанд, 2008. – 360 с.

36. Васильев С.Н., Лакеев А.В. Некоторые постановки задачи гармонизации интересов сторон / Труды Всероссийской школы «Проблемы анализа устойчивости развития и стратегической стабильности». – Иркутск: ИрВЦ РАН, 1995. Т. 3. С. 36 – 44.
37. Вахненко Д.В., Гарнизоненко Т.С., Колесников С.И. Биология с основами экологии. – Ростов н/Д: Феникс, 2003. – 512 с.
38. Выборнов Р.А. Модели и методы управления организационными системами с коррупционным поведением участников. – М.: ИПУ РАН, 2006. – 110 с.
39. Гермейер Ю.Б. Игры с непротивоположными интересами. – М.: Наука, 1976. – 327 с.
40. Гилев С.Е., Леонтьев С.В., Новиков Д.А. Распределенные системы принятия решений в управлении региональным развитием. – М.: ИПУ РАН, 2002. – 52 с.
41. Гирусов Э.В., Бобылев С.Н., Новоселов А.Л., Чепурных Н.В. Экология и экономика природопользования. 2-е изд. – М.: Единство, 2002. – 519 с.
42. Глотов В.А., Павельев В.В. Векторная стратификация. – М.: Наука, 1985. – 132 с.
43. Глотова Н.П., Новиков Д.А. Модели и механизмы управления образовательными сетями и комплексами. – М.: Институт управления образованием РАО, 2004. – 142 с.
44. Глухов В.В., Некрасова Т.П. Экономические основы экологии. – Спб.: Питер, 2003. – 384 с.
45. Горелик В.А., Горелов М.А., Кононенко А.Ф. Анализ конфликтных ситуаций в системах управления. – М.: Радио и связь, 1991. – 288 с.
46. Горелик В.А., Кононенко А.Ф. Теоретико-игровые модели принятия решений в эколого-экономических системах. – М.: Радио и связь, 1982. – 144 с.
47. Горстко А.Б., Домбровский Ю.А., Сурков Ф.А. Модели управления эколого-экономическими системами. – М.: Наука, 1984. – 120 с.
48. Горстко А.Б., Угольницкий Г.А. Введение в моделирование эколого-экономических систем. – Ростов на Дону: Изд-во РГУ, 1990. – 112 с.
49. Губко Г.В. Модели и механизмы управления особо охраняемыми природными территориями. – Миасс: Геотур, 2002. – 88 с.

50. Губко М.В., Новиков Д.А. Теория игр в управлении организационными системами. – М.: Синтег, 2002. – 148 с.
51. Губко М.В. Управление организационными системами с коалиционным взаимодействием участников. – М.: ИПУ РАН, 2003. – 140 с.
52. Данилов В.И. Лекции по теории игр. – М.: Российская экономическая школа, 2002. – 140 с.
53. Данилов-Данильян В.И., Лосев А.В. Экологический вызов и устойчивое развитие. – М.: Прогресс-Традиция, 2000. – 415 с.
54. Емельянов С.В., Бурков В.Н., Щепкин А.В. и др. Метод деловых игр. – М.: Международный центр научно-технической информации, 1976. – 48 с.
55. Зинченко В.И., Павлов М.Л., Хлычиев А.И., Щепкин А.В. Построение комплексной оценки уровня экологической безопасности региона // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях 2003. № 3. С. 88 – 97.
56. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды. – М.: Гидрометеиздат, 1984. – 560 с.
57. Караваев А.П. Модели и методы управления составом активных систем. – М.: ИПУ РАН, 2003. – 151 с.
58. Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях от 30 декабря 2001 г. № 195-ФЗ (с изменениями). Глава 8.
59. Козелецкий Ю. Психологическая теория решений. – М.: Прогресс, 1979. – 504 с.
60. Кондратьев В.Д., Толстых А.В., Уандыков Б.К., Щепкин А.В. Оценка уровня риска функционирования потенциально опасных объектов // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. 2004. № 2. С. 57 – 65
61. Кондратьев В.Д., Щепкин А.В. Комплексное оценивание в области безопасности дорожного движения. – М.: ИПУ РАН, 2002. – 54 с.
62. Коптюг В.А., Матросов В.М., Левашов В.К., Демянко Ю.Г. Устойчивое развитие цивилизации и место в ней России: проблемы формирования национальной стратегии. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1996.
63. Коровкин П.П. Неравенства. – М.: Наука, 1983. – 71 с.
64. Кох Р. Принцип 80/20. – Минск: Попурри, 2004. – 352 с.

65. Кузьмицкий А.А., Новиков Д.А. Организационные механизмы управления развитием приоритетных направлений науки и техники. – М.: ИПУ РАН, 1993. – 67 с.
66. Кукушкин Н.С., Морозов В.В. Теория неантагонистических игр. – М.: МГУ, 1984. – 104 с.
67. Лапко А.В., Цугленок Н.В., Цугленок Г.И. Имитационные модели пространственно распределенных экологических систем. – Новосибирск: Наука, 1999. – 190 с.
68. Левинталь А.Б., Ефременко В.Ф., Гусев В.Б., Павельев В.В., Пащенко Ф.Ф.. Комплексное оценивание и планирование развития региона. – М.: ИПУ РАН, 2006. – 52 с.
69. Лемешев М.Я. Эколого-экономическая модель природопользования // Всесторонний анализ окружающей природной среды. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. С. 266 – 276.
70. Лесных В.В., Шангареева Е.Ю., Владимирова Е.П. и др. Экологическое страхование в газовой промышленности: информационные, методические и модельные аспекты. – М.: Наука, 1996. – 138 с.
71. Лукьянчиков Н.Н, Потравной И.М. Экономика и организация природопользования. – М.: Тройка, 2000. – 456 с.
72. Малишевский А.В. Качественные модели в теории сложных систем. – М.: Наука, 1998. – 528 с.
73. Марчук Г.И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. – М. Наука, 1982. – 320 с.
74. Математические модели в экологии / Сборник трудов. – Горький: ГГУ, 1980. – 167 с.
75. Математическое моделирование в экологии / Сборник трудов. – М.: Наука, 1978. – 180 с.
76. Математическое моделирования экологических свойств популяций / Сборник трудов. – Владивосток: ИАПУ ДНЦ РАН, 1980. – 144 с.
77. Методические рекомендации по администрированию платы за негативное воздействие на окружающую среду в части выбросов в атмосферный воздух / Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору (РД-19-02-2007 от 12.09.07).
78. Модели экосистем и методы определения их параметров / Сборник трудов. – Новосибирск: ВЦ СО РАН, 1981. – 146 с.

79. Моделирование и управление процессами регионального развития / Под ред. С.Н. Васильева. – М.: Физматлит, 2001. – 432 с.
80. Моделирование процессов в природно-экологических системах / Под ред. В.И. Гурмана, А.И. Москаленко. – Новосибирск: Наука, 1982. – 178 с.
81. Моделирование социо-эколого-экономической системы региона / Под ред. В.И. Гурмана, Е.В. Рюминой. – М.: Наука, 2003. – 175 с.
82. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. – М.: Наука, 1981. – 488 с.
83. Моисеев Н.Н. Расставание с простотой. – М.: Аграф, 1998. – 480 с.
84. Моисеев Н.Н. Судьба цивилизации. Путь Разума. – М.: Изд-во МНЭПУ, 1998. – 228 с.
85. Моисеев Н.Н., Александров В.В., Тарко А.М. Человек и биосфера. Опыт системного анализа и эксперименты с моделями. – М.: Наука, 1985. – 272 с.
86. Моисеев Н.Н. Экология и образование. – М.: ЮНИСАМ, 1996. – 192 с.
87. Морозов А. Аварийные игры // Техпропаганда. 1933. № 7.
88. Моткин Г.А. Основы экологического страхования. – М.: Наука, 1996. – 191 с.
89. Никитин А.Т., Степанов С.А. Государственное и муниципальное управление в сфере охраны окружающей среды. – М.: МНЭПУ, 2001. – 232 с.
90. Новая парадигма развития России в XXI веке. Комплексные исследования проблем устойчивого развития: идеи и результаты / Под редакцией В.А. Коптюга, В.М. Матросова, В.К. Левашова. – М.: Academia, 2000. – 397 с.
91. Новик И.Б. Проблемы оптимизации в экологии. 1978. – М.: Природа. – 328 с.
92. *Новиков Д.А., Иващенко А.А. Модели и методы организационного управления инновационным развитием фирмы. – М.: ЛЕНАНД, 2006. – 332 с.
93. *Новиков Д.А. Математические модели формирования и функционирования команд. – М.: Издательство физико-математической литературы, 2008. – 184 с.

94. Новиков Д.А. Механизмы страхования: перераспределение риска и манипулирование информацией // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. 1997. № 5. С. 44 – 55.
95. Новиков Д.А. Оптимальные механизмы стимулирования в системах управления экологической безопасностью // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. 1994. № 8. С. 51 – 58.
96. Новиков Д.А. Оптимальные функции штрафов в системах управления экологической безопасностью / Труды II Международной конференции «Проблемы управления в чрезвычайных ситуациях». – М.: ИПУ РАН, 1994. С. 53 – 55.
97. Новиков Д.А. Стимулирование в социально-экономических системах (математические модели). – М.: ИПУ РАН, 1998. – 216 с.
98. Новиков Д.А. Теория управления организационными системами. 2-е изд. – М.: Физматлит, 2007. – 584 с.
99. Новиков Д.А., Цветков А.В. Механизмы функционирования организационных систем с распределенным контролем. – М.: ИПУ РАН, 2001. – 118 с.
100. Новиков Д.А., Чхартишвили А.Г. Рефлексивные игры. – М.: Синтег, 2003. – 160 с.
101. Новиков Д.А. Экономические механизмы управления риском в многоэлементных системах / Труды III Международной конференции «Проблемы управления в чрезвычайных ситуациях». – М.: ИПУ РАН, 1995. С. 37 – 38.
102. Новиков Д.А. Эколого-экономический мониторинг: затраты и достоверность информации / Труды IV Международной конференции «Проблемы управления в чрезвычайных ситуациях». – М.: ИПУ РАН, 1997. С. 83 – 84.
103. Новиков Д.А. Экономические механизмы управления риском в организационно-технических системах / Труды 5-й Международной научно-практической конференции «Опыт разработки и применения САПР», Львов: ЛГТУ, 1999. С. 44 – 48.
104. Новиков Д.А. Экономические механизмы экологического мониторинга // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. 1996. № 12. С. 23 – 29.
105. Определение Конституционного суда Российской Федерации от 10 декабря 2002 г. № 284-О*.
106. Опойцев В.И. Равновесие и устойчивость в моделях коллективного поведения. – М.: Наука, 1977. – 248 с.

107. Оптимальное управление природно-экономическими системами / Под ред. В.И. Гурмана, А.И. Москаленко. – М.: Наука, 1980. – 296 с.

108. Островский Я.С. Аварийные игры на Шатуре // Техпропаганда. 1933. № 7.

109. Петросян Л.А., Захаров В.В. Введение в математическую экологию. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1986. – 224 с.

110. Петросян Л.А., Захаров В.В. Математические модели в экологии. – СПб.: Изд-во СПбГУ, 1997. – 254 с.

111. Петросян Л.А., Зенкевич Н.А., Семина Е.А. Теория игр. – М.: Высшая школа, 1998. – 304 с.

112. Плотинский Ю.М. Теоретические и эмпирические модели социальных процессов. – М.: Логос, 1998. – 280 с.

113. Половинкина А.И., Толстых А.В., Уандыков Б.К. Щепкин А.В. Игровое моделирование экономических механизмов обеспечения безопасности. – М.: ИПУ РАН, 2003. – 72 с.

114. Полуэктов Р.А., Пых Ю.А., Швытов И.А. Динамические модели экологических систем. – Л.: Наука, 1980. – 289 с.

115. Поспелов Г.С., Ириков В.А., Курилов А.Е. Процедуры и алгоритмы формирования комплексных программ. – М.: Наука, 1985. – 424 с.

116. Постановление Правительства Москвы от 19 ноября 2002 года № 939-ПП «Положение о Департаменте природопользования и охраны окружающей среды города Москвы».

117. Постановление Правительства Российской Федерации от 28 августа 1992 г. № 632 «Об утверждении порядка определения платы и ее предельных размеров за загрязнение окружающей природной среды, размещение отходов, другие виды вредного воздействия» с изменениями, внесенными решением Верховного Суда РФ от 12.02.2003 № ГКПИ 03-49.

118. Постановление Правительства Российской Федерации от 12 июня 2003 г. № 344 «О нормативах платы за выбросы в атмосферный воздух загрязняющих веществ стационарными и передвижными источниками, сбросы загрязняющих веществ в поверхностные и подземные водные объекты, размещение отходов производства и потребления» (с изменениями).

119. Постановление Правительства РФ от 30.12.2003 № 794 «О единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций».

120. Потапов А.Д. Экология. – М.: Высшая школа, 2004. – 528 с.
121. Природные опасности России. Оценка и управление природными рисками / Под редакцией Рагозина А.Л. – М.: КРУК, 2003. – 316 с.
122. Рагозин А.Л. Оценка и картографирование опасности и риска от природных и техногенных процессов (история, методология, методика и примеры) // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. 1993. № 3. С. 16 – 41. №. 5. С. 4 – 21.
123. Распоряжение Правительства РФ от 31.08.2002 № 1225-р «Об экологической доктрине Российской Федерации».
124. Робертс Ф.С. Дискретные математические модели с приложениями к социальным, биологическим и экологическим задачам. – М.: Наука, 1986. – 496 с.
125. Рюмина Е.В. Анализ эколого-экономических взаимодействий. – М.: Наука, 2000. – 158 с.
126. Самарский А.А., Моисеев Н.Н., Петров А.А. Математическое моделирование. Процессы в сложных экономических и экологических системах. – М.: МГУ, 1986. – 296 с.
127. Свирежев Ю.М., Логофет Д.О. Устойчивость биологических сообществ. – М.: Наука, 1978. – 352 с.
128. Советский энциклопедический словарь. – М.: Советская энциклопедия, 1988.
129. Степановских А.С. Прикладная экология. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2005. – 751 с.
130. Тимофеева С.С. Экологический менеджмент. – Ростов н/Д: Феникс, 2004. – 352 с.
131. Тимченко И.Е., Игумнова Е.М., Прималенный А.А. Управление эколого-экономическими системами. – Севастополь: Гидрофизика, 1999. – 180 с.
132. Толстых А.В., Уандыков Б.К., Щепкин А.В. Моделирование экономических механизмов обеспечения безопасности при техногенных и природных катастрофах // Автоматика и телемеханика. 2004. № 5. С. 142 – 153.
133. Уатт К. Экология и управление природными ресурсами. Количественный подход: – М.: Мир, 1971. – 464 с.
134. Уголовный кодекс РФ от 13 июня 1996 г. № 63-ФЗ (с изменениями). Глава 26.

135. Угольницкий Г.А., Усов А.Б. Иерархические системы ромбовидной структуры для управления качеством речных вод // Управление большими системами. 2007. Выпуск 19. С. 187 – 203.

136. Угольницкий Г.А., Усов А.Б. Информационно-аналитическая система управления эколого-экономическими объектами // Известия РАН. Теория и системы управления. 2007. № 6. С. 230 – 237.

137. Угольницкий Г.А., Усов А.Б. Математическая формализация методов иерархического управления эколого-экономическими системами // Проблемы управления. 2007. № 4. С. 64 – 69.

138. Угольницкий Г.А., Усов А.Б. Методы иерархического управления качеством речной воды // Водные ресурсы. 2003. Том 31. № 2. С. 1 – 8.

139. Угольницкий Г.А. Теоретико-игровые принципы оптимальности иерархического управления устойчивым развитием // Известия РАН. Теория и системы управления. 2005. № 4. С. 72 – 78.

140. Угольницкий Г.А. Управление эколого-экономическими системами. – М.: Вузовская книга, 2004. – 132 с.

141. Указ Президента РФ от 04.02.1994 № 236 «О государственной стратегии Российской Федерации по охране окружающей среды и обеспечению устойчивого развития».

142. Указ Президента РФ от 01.04.1996 № 440 «О концепции перехода Российской Федерации к устойчивому развитию».

143. Управление риском: Риск. Устойчивое развитие. Синергетика. – М.: Наука, 2000. – 431 с.

144. Урсул А.Д., Ващекин Н.П., Дзлиев М.И. и др. Безопасность России: Словарь терминов и определений. – М.: МГФ «Знание», 1998. – 206 с.

145. Усов А.Б. Методы управления эколого-экономическими системами // Экономика и управление. 2007. № 2. С. 88 – 90.

146. Фатхутдинов Р., Сивкова Л. Принуждение, побуждение, убеждение: новый подход к управлению // Управление персоналом. 1999. № 2. С. 32 – 40.

147. Федеральный закон «О безопасности» (в ред. Закона РФ от 25.12.1992 № 4235-1, Указа Президента РФ от 24.12.1993 № 2288, Федеральных законов от 25.07.2002 № 116-ФЗ, от 07.03.2005 № 15-ФЗ, от 25.07.2006 № 128-ФЗ, от 02.03.2007 № 24-ФЗ).

148. Федеральный закон «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» (в

ред. Федеральных законов от 28.10.2002 № 129-ФЗ, от 22.08.2004 № 122-ФЗ, от 04.12.2006 № 206-ФЗ, от 18.12.2006 № 232-ФЗ).

149. Федеральный закон от 4 мая 1999 г. № 96-ФЗ «Об охране атмосферного воздуха» (с изменениями от 22 августа 2004 г., 9 мая 2005 г.).

150. Федеральный закон от 21 июля 1997г. №116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» (в ред. Федеральных законов от 07.08.2000 № 122-ФЗ, от 10.01.2003 № 15-ФЗ, от 22.08.2004 № 122-ФЗ, от 09.05.2005 № 45-ФЗ).

151. Федеральный закон от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» (с изменениями от 22 августа, 29 декабря 2004 г., 9 мая, 31 декабря 2005 г., 18 декабря 2006 г., 5 февраля, 26 июня 2007 г.).

152. Форрестер Д. Мировая динамика. – М.: Наука, 1978. – 168 с.

153. Фролов К.В., Махутов Н.А. Проблемы безопасности сложных технических систем / Сборник избранных статей и докладов 2-ой международной конференции «Безопасность и экология горных территорий». Владикавказ, 1995. С. 12 – 18.

154. Харитонов В.А., Белых А.А. Технологии современного менеджмента. – Пермь: ПГТУ, 2007. – 190 с.

155. Харитонов В.А., Винокур И.Р., Белых А.А. Функциональные возможности механизмов комплексного оценивания с топологической интерпретацией матриц свертки // Управление большими системами. 2007. Выпуск 18. С.129 – 140.

156. Чепрунова О.Ю., Щепкин А.В. Разработка экспериментов с моделями организационных систем // Автоматика и телемеханика. 1988. № 8. С. 87 – 93.

157. Щепкин А.В. Внутрифирменное управление (модели и механизмы). – М.: ИПУ РАН, 2001. – 80 с.

158. Щепкин А.В. Моделирование механизма снижения уровня риска на предприятии // Управление большими системами. 2004. № 9. С. 214 – 219.

159. Щепкин Д.А. Штрафы при управлении уровнем риска на предприятии // Управление большими системами. 2004. № 9. С. 220 – 231.

160. Щуров Б.В., Губанов Л.Н., Зверева В.И. Управление природопользованием. – Нижний Новгород: ННГАСУ, 2007 – 214 с.

161. Эколого-экономические системы: модели, информация, эксперимент / Под ред. В.И. Гурмана, Л.Ю. Дамешек. – Новосибирск: Наука, 1987. – 216 с.
162. Юдкевич М.М., Подколзина Е.А., Рябинина А.Ю. Основы теории контрактов: модели и задачи. – М.: ГУ ВШЭ, 2002. – 352 с.
163. Beard R. et al. Risk theory. The stochastic basis of insurance. Third edition. London, 1984. – 384 p.
164. Bolton P., Dewatripont M. Contract Theory. – Massachusetts: MIT Press, 2005. – 688 p.
165. Carley M., Christie I. Managing Sustainable Development. – Minneapolis, 1993. – 304 p.
166. Guidelines for Ecological Risk Assessment / Risk Assessment Forum U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, 1998.
167. Hanley N., Folmer H. Game Theory and the Environment. – London: Edward Elgar Pub, 1999. – 432 p.
168. Hofbauer J., Sigmund K. Evolutionary Games and Population Dynamics. – Cambridge: Cambridge University Press, 1998. – 351 p.
169. Knight F. Risk, Uncertainty and Profit. – Boston: Houghton Mifflin, 1921. – 447 p.
170. Kolluru R., Bartell S., Pitblado R., Stricoff S. Risk assessment and management handbook. For environmental health and safety professionals. – New York: McGraw-Hill, 1996. – 324 p.
171. Levy M. Market efficiency, the Pareto wealth distribution and the Levy distribution of stock returns. – Jerusalem: Hebrew University, 2001. – 52 p.
172. Mas-Colell A., Whinston M.D., Green J.R. Microeconomic theory. – N.Y.: Oxford Univ. Press, 1995. – 981 p.
173. Meadows D.H., Randers F., Behrens W.W. The limits to growth. – N.Y.: Universe Book, 1972. – 205 p.
174. Myerson R.B. Game theory: analysis of conflict. – London: Harvard Univ. Press, 1991. – 568 p.
175. Novikov D.A. Management of active systems: stability or efficiency // Systems Science. 2001. Vol. 26. № 2. P. 85 – 93.
176. Pareto V. Manuele d'Economia Politica. 1906.
177. Pratt J. Risk aversion in the small and in the large // Econometrica. 1964. V. 52. № 1. P. 122 – 136.
178. Riceiardi F.M. et al. Top Management Decision Simulation: the AMA Approach. – N.Y.: American Management Association, 1957. – 132 p.

179. Risk, Analysis, Assessment and Management / Edited by Jake Ansell and Frank Wharton. – N.Y.: J. Wiley & Sons Ltd., 1992. – 482 p.
180. Rohn Y. Fuhrungsentscheidungen in Unternehmensplanspiel. Essen, 1964. – 264 p.
181. Siebert H. Economics of the environment: theory and policy. – Berlin: Springer, 1992. – 295 p.
182. Vassilyev S.N., Baturin V.A., Lakeyev A.V. Ecologo-economic model and solvability of harmonization problem / Proceedings of IEEE International Conference on Systems. – Lille: Man and Cybernetics, 1993. V. 5. P. 339 – 343.
183. Zipf G. Human behavior and the principle of least effort. – Cambridge: Addison-Westley, 1949. – 573 p.

Научное издание

*Баркалов Сергей Алексеевич, Новиков Дмитрий Александрович,
Новосельцев Виктор Иванович, Половинкина Алла Ивановна,
Шепилов Василий Николаевич*

МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ КОНФЛИКТАМИ И РИСКАМИ

Под редакцией Д.А. Новикова

Подписано в печать 25.07.08. Формат 60×84 1/16.

Усл. печ. л. 85,2. Тираж 500 экз. Заказ 828.

ООО Издательство «Научная книга»
394077, г. Воронеж, ул. Маршала Жукова, 3-244
<http://www.sbook.ru>

Отпечатано в ООО ИПЦ «Научная книга»

г. Воронеж, пр-т Труда, 48

тел (4732) 205-715, 297-969

E-mail: ipc@sbook.ru