

**Ю.П.Пономарев**

---

**ИГРОВЫЕ  
МОДЕЛИ  
МАТЕМАТИЧЕСКИЕ  
МЕТОДЫ  
ПСИХОЛОГИЧЕСКИЙ  
АНАЛИЗ**

**«НАУКА»**



АКАДЕМИЯ НАУК СССР  
НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО КОМПЛЕКСНОЙ ПРОБЛЕМЕ  
«КИБЕРНЕТИКА»

Ю.П.Пономарев

# ИГРОВЫЕ МОДЕЛИ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПСИХОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ



МОСКВА «НАУКА» 1991

ББК 88.4  
П56

Ответственный редактор  
член-корреспондент АН СССР  
**Б. Ф. ЛОМОВ**

Рецензенты:  
член-корреспондент АН СССР П. А. АГАДЖАНОВ  
доктор психологических наук, профессор А. П. ЧЕРНЫШЕВ

Редактор **В. В. Дюрягин**

То, что мы называем наукой, преследует одну единственную цель: установление того, что существует на самом деле.

*А. Эйнштейн*

Совершенная теория — лишь удивительная мечта, яркая поэтическая зарисовка. Если мечта становится истиной, если поэзия отвечает фактам, она превращается в информацию.

*Л. Бриллюэн*

## ВВЕДЕНИЕ

Изучением конфликта в настоящее время занимается ряд наук: математика, логика, биология, праксеология, социология и психология. Каждая из этих наук имеет свою «сферу интересов» и свои методы исследования. Можно выделить два подхода к исследованию конфликтных ситуаций: нормативный (математический) и психологический. Целью нормативных исследований является разработка правил поведения, позволяющих оптимально (рационально) разрешить данный конфликт или способствующих получению максимально возможного в данной ситуации выигрыша. Одной из нормативных наук, занимающихся исследованием конфликтов, является теория игр.

В момент зарождения этой науки казалось, что теория игр совершит переворот в ряде прикладных областей, особенно в военном деле и экономике. И сейчас, когда теория игр по общему признанию стала классической наукой, порой высказываются оптимистические взгляды на прикладной характер результатов и достижений этой науки. Однако этот оптимизм не всегда строится на реальной основе.

Причин крушения надежд, связанных с прикладным характером результатов теории игр, несколько. Мы не будем характеризовать их все, поскольку это является предметом отдельного разговора, а остановимся только на тех из них, которые позволят сформулировать цель и задачи данной книги.

Почти все элементарные введения в теорию игр начинаются с матричных игр. Это прекрасный подход к формулированию и доказательствам основных теорем, без которых теория игр не могла бы существовать. Но матрицы — не очень подходящее средство для получения окончательного решения игры двух или нескольких противоборствующих противников, поскольку для реальных ситуаций они оказываются, как правило, астрономических размеров. Более приспособленной для исследования конфликтных ситуаций оказывается теория дифференциальных игр, которая рассматривает такие ситуации, где противники принимают длинный ряд последовательных — дискретных или непре-

ривных — решений; причем решения так логически связаны друг с другом, что эта связь может послужить основой наглядной и поддающейся счету модели [8].

В книге излагаются некоторые результаты исследований реальных конфликтов с помощью теории неантагонистических дифференциальных игр — одного из новых и бурно развивающихся направлений кибернетики и исследования операций. Интенсивное развитие указанной теории в настоящее время вызвано тем, что изучение различных задач исследования операций, экономики, механики вынуждает рассматривать взаимодействие управляемых систем, развивающихся во времени, цели которых и не совпадают и не являются строго противоположными в теоретико-игровом смысле: это приводит к необходимости описания их методами неантагонистических дифференциальных игр [5; 6; 24]. Одним из существенных препятствий на пути к широкому практическому применению этой теории является высокий порядок дифференциальных уравнений, описывающих модель реального конфликта, и отсутствие общепринятого понятия решения неантагонистической игры.

Все сказанное касается математических трудностей, связанных с применением теории дифференциальных игр для построения моделей реальных конфликтов. Но есть и другая группа трудностей, с которой сталкивается исследователь при попытке использовать результаты, полученные с помощью игровых моделей, для решения практических задач. Причина этих трудностей, которые можно трактовать как трудности психологического порядка, состоит в том, что нормативная теория конфликта обеспечивает лицо, принимающее решение, набором оптимальных решений, имеющих теоретико-игровую природу. И здесь возникает вполне закономерный вопрос: в какой мере рекомендациями, полученными с помощью математических (игровых) моделей, будет пользоваться конкретный человек в конкретной ситуации?

Прежде чем ответить на этот вопрос, остановимся на ряде обстоятельств, вытекающих из особенностей задач исследования операций. Заметим, что основные задачи исследования операций всегда многокритериальные, а многокритериальность является источником неопределенности цели. Сталкиваясь с многокритериальными задачами, исследователь испытывает естественное (с точки зрения человека, ибо человек хорошо работает в пространствах малой размерности) желание свести их к обычным одноэкстремальным задачам. Решение же этой задачи связано с использованием неформальных способов, т. е. способов, которые не могут быть получены как результат решения какой-либо математической задачи [67]. Существуют и другие типы неопределенности: неопределенность «природы», формируемая неизвестными исследователю факторами, статистическая неопределенность и т. д. Что касается конфликтных ситуаций, то для них характерен источник неопределенности, являющийся игровым по существу: игрок может не знать, какого образа действия придержи-

вается его противник (неопределенность исхода). Иногда эту неопределенность называют стратегической [27]. Для моделей, предполагающих сознательного противника, неопределенность исхода является необходимым условием возникновения конфликта, ибо только в этом случае в конфликт могут вступить те его участники, которые с самого начала обречены на поражение.

Не нужно особых доказательств того, что свести подобные задачи с неопределенностями к точно поставленным (хорошо структурированным, хорошо формализуемым) математическим задачам нельзя в принципе, поскольку это требует «снятия» неопределенностей. В конечном итоге никакой математический аппарат не может дать строгого и точного выбора возможных решений в условиях неопределенности. При решении подобного класса задач исследователь сталкивается с проблемой выбора альтернатив в слабо структурированных (плохо формализуемых) ситуациях, основная особенность которых заключается в том, что их модель может быть построена только на основании дополнительной информации, получаемой от человека, участвующего в конфликте. Отсюда следует необходимость разработки специального (специфического) математического аппарата, предназначенного для решения слабо структурированных (смешанных) и неструктурированных (качественно выраженных) задач. Этот аппарат должен адекватно отражать реальную действительность (конфликтную ситуацию) с учетом характеристик субъекта, принимающего решение. В противном случае рекомендации, полученные с помощью строго математических моделей, могут игнорироваться либо превратно пониматься конкретным субъектом, принимающим решение, поскольку часть сведений о закономерностях противоборства, которыми он располагает, носит характер нечетких описаний на лингвистическом уровне. Именно наличие в тезаурусе лица, принимающего решение, качественных (нечетких) переменных позволяет ему принимать удачные решения в слабо структурированных ситуациях конфликта.

Однако палитра реальных конфликтов оказывается значительно богаче и математических, и лингвистических моделей. Известно, что далеко не каждый конфликт может быть формализован, а следовательно, далеко не каждый конфликт может быть подвергнут анализу с помощью математического аппарата. Если речь идет о поиске решений методами теории игр, то предполагается заданной (формализованной) модель конфликта: определено количество игроков и их активность (преследователь, преследуемый), задана функция полезности, определен тип игры и т. д. Что касается причин и природы конфликтов, то эти вопросы остаются в стороне и совершенно не рассматриваются в теории игр. Не рассматриваются в этой теории и важнейшие вопросы, связанные с исследованием влияния личности игрока на процесс поиска, выбора и эффективность решений, т. е. те вопросы, которые являются предметом психологических исследований конфликта. И здесь возникает весьма перспективное направление в психо-

логической теории конфликта, связанное с исследованием динамики поведения людей в реальных конфликтах; основной же инструмент этих исследований — формализованные теоретико-игровые модели.

Из сказанного следует, что с целью построения моделей реального конфликта целесообразно вести исследования не только на математическом, но и на лингвистическом и психологическом уровнях. Этот вывод и определил содержание данной книги, которая состоит из пяти глав.

В гл. 1 излагаются методологические аспекты реального конфликта. Основное внимание уделяется анализу путей построения адекватных моделей конфликта и идеологии противоборства двух игроков в дифференциальной игре качества. В гл. 2 рассматривается модель неантагонистической игры качества с антагонистическим поведением игроков. Анализируется решение дифференциальной игры качества и предлагается пакет прикладных программ для разбиения фазового пространства на зоны различного назначения. В гл. 3 излагаются теоретические основы построения лингвистических моделей конфликта. Анализируется подход к моделированию конфликта, базирующийся на учете опыта лица, принимающего решение. Показаны преимущества и ограничения лингвистических моделей конфликта. В гл. 4 анализируются психологические аспекты принятия решений в конфликтной ситуации. Приводятся экспериментальные материалы, характеризующие поведение человека в ситуации конфликта: из анализа данных следует, что в конфликтной ситуации человек не всегда следует «вероятностной логике». Вопросы взаимодействия рассмотрены на различных уровнях, включая психологический (психическое взаимодействие). Гл. 5 посвящена анализу психологических особенностей и профессионально важных качеств человека-оператора. Предлагается набор бланковых и аппаратурных методик для оценки качеств оператора, участвующего в конфликте; в частности, прогностические качества оцениваются с помощью оригинальной аппаратурной методики. Дан анализ модели формирования одаренности к данному виду деятельности.

Автор глубоко благодарен Н. Ф. Лукьяновой, Г. В. Меркурьевой, В. А. Агладзе, О. А. Крумбергу, В. В. Попову, А. Ф. Похилько за сотрудничество, результатом которого явилась данная книга. Кроме того, автор выражает благодарность всем коллегам, принимавшим участие в обсуждении дискуссионных проблем, и в первую очередь профессору Ю. М. Забродину.



## ПУТИ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛЕЙ КОНФЛИКТА УПРАВЛЯЕМЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

### 1.1. Взаимодействие — основа построения моделей конфликта

Методология любой науки дает представление не только об объекте исследования, но и о путях его познания. Взаимосвязь этих представлений выступает в качестве методологического обеспечения этой науки, непосредственно определяя теорию и методы ее исследований. Если речь идет о привлечении различных методов из различных областей знаний, то методология должна обеспечить единые позиции, обеспечивающие использование указанных методов для решения конкретных задач данной науки. В противном случае результаты, полученные с помощью разнородного методического (математического) аппарата, разработанного на различных методологических принципах, могут не отражать существо рассматриваемой проблемы.

В теории конфликта условно можно выделить два уровня познания, характеризующихся различными подходами и методами исследований.

На первом уровне изучаются закономерности противоборства двух и более игроков при условии, что их поведение в точности соответствует объективной ситуации, которая складывается в процессе конфликта. Другими словами, на этом уровне изучается феномен противоборства без учета психологических особенностей лица, принимающего решение. В этом случае противоборство игроков перерастает в противоборство машин («идеальных» игроков). Математический аппарат (в частности, аппарат теории дифференциальных игр), развитый на этом уровне, позволяет решать достаточно широкий круг задач. Не останавливаясь на математических трудностях этого уровня, напомним лишь положение об использовании математических результатов, высказанное во введении. Речь идет о том, что результаты, полученные с помощью математических методов, не всегда адекватно отражают картину реального конфликта, а следовательно, не всегда используются лицами, принимающими решения (л. п. р.), в реальной ситуации противоборства.

На втором уровне проблема противоборства изучается как проблема противоборства реальных людей с учетом их психологических особенностей (математическое противоборство в этом случае перерастает в противоборство интеллектов). Эта теория,

которая может быть названа психологической теорией конфликта, в настоящее время находится в стадии становления и не имеет пока подходящего методологического и математического аппарата формализации рассматриваемых явлений. Поэтому на этом уровне речь идет не об использовании результатов, полученных с помощью разработанного методического аппарата, адекватно отражающего реальную действительность, а речь идет лишь о поиске соответствующих методов, раскрывающих проблему противоборства реальных людей как противоборство интеллектов.

Из сказанного следует, что теория реального конфликта испытывает серьезные трудности на всех уровнях познания. Из многообразия причин этих трудностей назовем только две из них. Первая причина состоит в отсутствии единого методического (математического) аппарата, успешно работающего на обоих уровнях исследования конфликта, что является следствием сложности изучаемой проблемы и тех закономерностей, которые характеризуют феномен противоборства управляемых динамических объектов. Но не эта причина, на наш взгляд, главная. Главную же причину следует искать в отсутствии единой методологической основы, позволяющей учесть, согласовать и объединить результаты, полученные на различных уровнях исследования конфликта. Если же методологическое исходное выбрано правильно, а методология верно определяет область познания, то сам предмет познания должен углубляться в результате исследований. Более того, именно методология позволяет выбрать класс исследуемых моделей, разработать принципы их построения и выработать общие требования к методическому (математическому) аппарату, успешно работающему на различных уровнях познания реального конфликта.

В первую очередь следует остановиться на понятии «реальный конфликт». Чем отличается это понятие от предмета исследования, допустим, в математике?

Когда мы говорим «реальный конфликт», то имеем в виду противоборство людей, в том числе операторов, управляющих динамическими объектами, их практическую деятельность. Такое понимание реального конфликта является всеобщим, наиболее устойчивым и независимым от уровня развития техники, а следовательно, оно составляет внутреннюю, наиболее существенную сторону рассматриваемого явления.

Суть научного подхода к познанию реального конфликта необходимо видеть в понимании его как природного явления, в применении к его анализу методов и принципов материалистической диалектики, позволяющих исследовать противоборство с позиций взаимосвязи и взаимообусловленности всех явлений материального мира. В этом плане диалектико-материалистическое понимание реального конфликта создает благоприятные предпосылки для познания именно внутренней его стороны в условиях ее взаимодействия с внешней. Причем это взаимодействие позволяет не только выявить активную роль внутреннего в раз-

витии их соотношения, но и проследить собственную логику развития внутреннего. Учитывая, что соотношение внутреннего и внешнего непрерывно меняется в процессе их взаимодействия, знание закономерностей развития внутреннего имеет принципиальное значение. Сложившись под воздействием внешнего, внутреннее не пассивно к нему, а весьма активно. Его избирательная активность проявляется прежде всего в том, что оно изменяет внешнее в желательную для себя сторону. В этом состоит основной смысл активности внутреннего. Поэтому диалектико-материалистическое понимание реального конфликта открывает широкие перспективы как для познания самой природы изучаемого явления, так и для конкретизации методов его научного анализа.

В переходе на диалектические позиции познания реального конфликта действительную помощь должна оказать психология, и в частности методологический принцип единства сознания и деятельности. Смысл этого принципа означает, что познание самого психического неотделимо от изучения деятельности. Следовательно, и изучение механизмов, непосредственно отвечающих за развитие психических функций, неотделимо от тех условий, в которых происходит формирование конкретной деятельности. В свою очередь, анализ деятельности немыслим без знания психических функций и процессов, посредством которых человек регулирует свои действия. Но это не означает, что психологический анализ целиком сводится к изучению функций и процессов и исчерпывается ими. Деятельность всегда выражает конкретное отношение человека к действительности, в котором реально выявляются свойства личности, имеющие более комплексный характер, чем функции и аналитически выделенные процессы [92]. Иными словами, изучение только отдельных функций и аналитически выделенных процессов приводит к тому, что при анализе деятельности выпадает ряд важных (сущностных) механизмов, поскольку сам человек рассматривается в отрыве от тех материальных реальностей, с которыми он вступает во взаимодействие. В результате основные закономерности, определяющие существо конкретной деятельности, не выясняются при таком анализе. Это связано с тем, что качественная определенность любого индивида обуславливается еще и самим процессом развития способов разрешения противоречий, характеризующим не только связь психики и деятельности, но и логику развития всей психической организации индивида. Выработывая свои способы разрешения противоречий, каждый индивид становится субъектом деятельности не только потому, что каким-то образом снимает или устраняет противоречия, но и потому, что постоянно участвует в процессе их развития и разрешения [3].

Итак, суть психологического анализа деятельности состоит не только в исследовании соотношения субъективных и предметных характеристик, выявляя тем самым связь психики с конкретной деятельностью, но и в исследовании качественных особенностей указанных характеристик, которые определяются развитием спо-

соединения психики и деятельности. Только в этом случае природа реального конфликта будет раскрываться через природу психического, поскольку суть его заключена в развитии способов разрешения соответствующих противоречий.

Современная психология, как отмечал Б. Ф. Ломов, одна из первых обратилась к анализу человеческой деятельности. Изучение деятельности способствовало, с одной стороны, выявлению ее роли в развитии и формировании психики, а с другой стороны, решению теоретических и практических задач, связанных с повышением эффективности и качества человеческого труда [4, 56]. Конечно, особый интерес при этом всегда представляла проблема познания природы психического, от правильного понимания которой во многом зависело решение указанных выше задач. Однако, несмотря на значительные успехи в изучении деятельности, целый ряд вопросов, затрагивающих природу психического, а следовательно, влияющих на эффективность и качество человеческого труда, еще ждут своего решения. В первую очередь это касается вопросов, раскрывающих механизм включения индивида в деятельность, механизмы и способы ее реализации, механизмы развития способностей и т. д. Важнейшая причина создавшегося положения состоит в том, что диалектический метод вообще и основной принцип взаимодействия в частности не нашли еще должного применения при собственно психологическом анализе деятельности [80]. Данное обстоятельство выступает существенным препятствием при определении конкретных путей и методов экспериментальных исследований.

Из сказанного следует, что принцип единства сознания и деятельности не обеспечивает требуемой полноты исследований. Он скорее выступает как требование, соответствующее условию необходимости, чем достаточности. В качестве достаточного условия при конкретном психологическом анализе деятельности, обеспечивающем реализацию диалектического метода, может быть только принцип взаимодействия. Этот принцип позволяет не только проследить детерминацию психических явлений в их развитии, но и исследовать системный характер самого развития, а также выявить его механизмы.

Качественные особенности любых тел и предметов Ф. Энгельс прежде всего связывал с характеристиками их взаимодействия, которое он рассматривал как движение, как процесс, определяющий способ существования материальных тел. «Движение, — писал он, — рассматриваемое в самом общем смысле слова, т. е. понимаемое как способ существования материи, как внутренне присущий материи атрибут, обнимает собой все происходящие во вселенной изменения и процессы, начиная от простого перемещения и кончая мышлением» [1, с. 391].

К движению как способу существования материальных тел Ф. Энгельс, таким образом, относил и психические явления, подчеркивая тем самым, что в нем (в движении) необходимо видеть конечную причину их развития, обуславливающую основу всех их

связей. Такая позиция со всей определенностью нацеливает и теорию конфликта, и психологию на то, чтобы качественные особенности конфликта, детерминирующие его субъективные характеристики, выяснились этими науками только во взаимодействующей системе.

Отмечая, что взаимодействие является истинной причиной развития всех тел (вещей) материального мира и носит поэтому системный характер, Ф. Энгельс писал: «Взаимодействие — вот первое, что выступает перед нами, когда мы рассматриваем движущую материю в целом с точки зрения теперешнего естествознания. . . Мы не можем пойти дальше познания этого взаимодействия именно потому, что позади его нечего больше познавать» [1, с. 546].

Но в рассматриваемом случае, т. е. в случае реального конфликта, взаимодействуют не просто тела природы, а мыслящие тела, и мы должны определить особенности взаимодействия таких тел. Если понимать под мышлением способ действия мыслящего тела, то для ответа на поставленный вопрос необходимо найти различия в способах действий (в способах существования и движения) мыслящего и немыслящего тел. Кардинальное отличие способа действия мыслящего тела от способа движения любого другого тела заключается в том, что мыслящее тело активно строит (конструирует) форму (траекторию) своего движения в пространстве сообразно с формой (с конфигурацией и положением) другого тела, согласовывая форму своего движения (своего действия) с формой другого (причем любого) тела. Следовательно, собственная, специфическая форма действия мыслящего тела заключается в универсальности, т. е. в том самом свойстве, которое является главным отличием человеческого действия от действия копирующего его внешность автомата.

Анализируя философию Спинозы, Э. В. Ильенков пишет, что человек — мыслящее тело — строит свое движение по форме любого другого тела. Он не дожидается, пока неодолимое сопротивление других тел заставит его свернуть с пути; мыслящее тело стремится обойти любое препятствие самой сложной формы. Способность активно строить свое собственное действие по форме любого другого тела, активно согласовывать форму своего движения в пространстве с формой и расположением всех других тел Спиноза и считает отличительным признаком мыслящего тела, специфической чертой того действия, которое называется «мышлением», «разумом» [36].

В. И. Ленин понимал и представлял мышление, отражающее собой объективный мир, как процесс, как развитие, как движение мысли, подчиняющееся общим законам диалектики. «Движение научного познания — вот суть» [2, с. 79], выражаемая категориями диалектики. Но куда, в каком направлении происходит движение мысли, ее развитие? Диалектическая логика отвечает так: в направлении поисков и нахождения истины как соответствия наших знаний объективной действительности [40]. Откуда

следует, что и логику интересует процесс мышления. Тогда невольно возникает вопрос: как же происходит «разделение труда» между логикой и психологией?

Действительно, и логика и психология изучают один и тот же духовный процесс, но ту и другую науку интересуют разные стороны или аспекты этого процесса. Диалектическая логика исследует те формы и законы, которые одинаково управляют и мышлением о внешнем мире, и мышлением о самом же мышлении, и тем самым является наукой о всеобщих формах и закономерностях мышления и действительности. Логика как науку интересуют вовсе не «специфические черты» мышления физика или химика, экономиста или языковеда, а лишь те всеобщие (инвариантные) формы и законы, в рамках которых протекает мышление любого человека, любого теоретика, в том числе и самого логика по профессии, специально мыслящего о мышлении [36]. Из сказанного следует, что логика изучает общие законы движения человеческой мысли к истине независимо от того, в чьей конкретно голове, в каких конкретных условиях и какими индивидуальными путями это движение совершается, т. е. она изучает вопрос об истине как конечный пункт данного движения.

Ну а что же психология? Психология изучает то, как протекает указанный выше процесс в сознании данного индивида, учитывая его качественные особенности, опыт, вкусы, привычки и т. д., т. е. изучает специфические формы и законы мышления. Развивая мысль В. И. Ленина: «Не психология, не феноменология духа, а логика=вопрос об истине» [2, с. 156], Б. М. Кедров [40] пишет, что в основе соотношения психологии и логики лежит диалектика общего и отдельного (частного). Общее составляет предмет логики, отдельное — предмет психологии. Но изучая отдельное (движение мысли в голове отдельного человека), психология ищет и находит в этом отдельном свои законы (свое общее) подобно тому, как это делает любая другая наука. В. И. Ленин подчеркивал диалектику общего и отдельного, говоря, что «с известной точки зрения, при известных условиях всеобщее есть отдельное, отдельное есть всеобщее» [2, с. 159].

Такое понимание соотношения, которое складывается между психологией как одной из частных наук и диалектической логикой как общей наукой, имеет принципиальное значение, например, для анализа процессов творчества, в том числе научного творчества и технического изобретательства [40]. Логика, абстрагируясь от всех деталей процесса научного открытия и истории его подготовки, улавливает лишь общий ход познания, приведший к обнаружению нового закона природы. Между тем весь этот процесс протекал у отдельных ученых, причем у каждого своеобразно и неповторимо, опираясь на всю сумму чисто психологических факторов, присущих данному ученому (своеобразия работы интуиции, использования ассоциаций и «подсказок» и т. д.). Логика как общая наука отвлекается от всего этого и принимает во внимание лишь обобщенный результат, «очищенный» от всего психо-

логического, неповторимого, своеобразного. Напротив, психология как частная наука все свое внимание сосредоточивает как раз на этом индивидуальном, своеобразном, от чего отвлекается логика. Вместе же, дополняя друг друга, обе науки позволяют исследовать процесс научного творчества всесторонне и полно.

Итак, методологическая роль принципа взаимодействия, включая взаимодействие мыслящих тел, состоит в том, что он позволяет преодолеть противопоставление объективного и субъективного и исследовать закономерности поведения человека в реальном конфликте. Если не придерживаться такой позиции, а продолжать изучать только отдельные субъективные характеристики конфликта, хотя и соотнося их с объективными (предметными), значит, односторонне изучать закономерности реального конфликта. Более того, игнорирование принципа взаимодействия приводит к тому, что личность человека-оператора (лица, принимающего решение), а также механизмы, определяющие ее включение в деятельность, будут рассматриваться не в диалектической взаимосвязи с механизмами регуляции деятельности, а непрерывно противопоставляться друг другу (что и происходит иногда в психологических исследованиях). «Взаимодействие, — писал Ф. Энгельс, — исключает всякое абсолютно первичное и абсолютно вторичное; но вместе с тем оно есть такой двухсторонний процесс, который по своей природе может рассматриваться с двух различных точек зрения; чтобы его понять как целое, его даже необходимо исследовать в отдельности сперва с одной, затем с другой точки зрения, прежде чем можно будет подытожить совокупный результат. Если же мы односторонне придерживаемся одной точки зрения как абсолютной в противоположность другой или если мы произвольно перескакиваем с одной точки зрения на другую в зависимости от того, чего в данный момент требуют наши рассуждения, то мы остаемся в плену односторонности метафизического мышления; от нас ускользает связь целого, и мы запутываемся в одном противоречии за другим» [1, с. 483—484].

В плане рассматриваемых вопросов представляют интерес исследования Я. А. Пономарева [78—80], в которых он предлагает считать предметом собственно психологического анализа человеческой деятельности не обособленно взятую совокупность человеческих свойств и качеств, а взаимодействующую систему материальных реальностей, продуктом которой эти свойства и качества являются.

Из сказанного следует, что только во взаимодействующей системе возникают необходимые предпосылки для понимания природы психического, а следовательно, и природы реального конфликта, поскольку только в ней образуются те реальные связи, посредством которых осуществляется взаимодействие материальных (мыслящих) тел. Кроме того, сам факт образования реальных связей, выступающих важнейшей основой формирования человеческих свойств и качеств, всецело находится под контролем

всеобщих законов материального мира, действие которых также возможно проследить только в условиях взаимодействия. Поэтому основные направления и последовательность исследований реального конфликта должны быть следующими:

отвлекаясь от конкретных форм конфликта, выявить наиболее общие закономерности;

применяя общие закономерности к исследованию конкретных форм, получить специфические закономерности реального конфликта.

Иными словами, в качестве важнейшего и необходимого условия при проведении собственно психологического анализа реального конфликта выступает специальное изучение его наиболее общих закономерностей с последующей их психологической конкретизацией. При этом важно, чтобы в центре внимания оказались те его закономерности, в которых конфликт раскрывался бы как противоборство людей, интеллектов. Дело в том, что в конкретных формах находят свое проявление не только закономерности, раскрывающие конфликт как взаимодействие мыслящих тел, но и закономерности, раскрывающие конфликт как взаимодействие мыслящих тел со специфическими в отношении их элементами окружающей среды. Знание последних также необходимо для понимания природы конфликта, ибо ими во многом определяется процесс разрешения основных противоречий. Однако особого внимания все же заслуживают закономерности взаимодействия мыслящих тел (качественно особенных материальных объектов), поскольку именно они определяют существо реального конфликта.

Все сказанное подтверждается многолетними исследованиями автора [81—87], в которых основное внимание обращалось на разработку математического аппарата, позволяющего адекватно отразить основные закономерности реального конфликта. Эти исследования показывают, что привлечение самых современных математических методов не снимает, а, наоборот, заостряет проблему конкретизации основных закономерностей конфликта в направлении психического. Без этого невозможен процесс более глубокого понимания как природы конфликта, так и природы самого психического.

## **1.2. Методология реального конфликта двух игроков**

Оптимальные алгоритмы поведения и соответствующая этим алгоритмам логика во многом определяются теми задачами, которые ставят перед собой противоборствующие противники. Если один из игроков пытается вступить в конфликт, а другой пытается избежать встречи, то возникает ситуация, характерная для игр преследования (уклонения) [8, 46]. В данной схеме противоборствующие стороны имеют разные уровни активности: одна сторона более активна (преследователь), другая менее активна (преследуемый). Математический аппарат теории дифференциальных



игр, развитый на сегодняшний день, предназначен для построения и исследования именно таких моделей. Не останавливаясь на подробном анализе игр преследования, отметим, что эта схема не в полной мере отражает существо реального конфликта; более того, эта схема только часть реального конфликта, поскольку в роли преследуемого игрок должен, скорее, думать не о получении максимального выигрыша, а о достижении минимального проигрыша. В реальной ситуации более важным оказывается достижение высокого уровня активности, что равносильно избеганию пассивной участи, участи преследуемого. Если не стеснять себя ограничениями, связанными с делением игроков на преследователя и преследуемого, то схема реального конфликта может быть представлена следующим образом. До начала противоборства оба игрока имеют равные уровни активности и единую задачу получения выигрыша то ли по критерию «захвата», то ли по какому-то другому критерию. На начальной стадии игры противоборствующие противники пытаются перевести игру в выгодное для себя русло. Здесь выгодность понимается в смысле получения первым ранга преследователя. В этом случае противнику отводится пассивная роль — роль преследуемого. Получение ранга преследователя для многих практических ситуаций если и не обеспечивает непереносимого решения игры в свою пользу, то по крайней мере дает носителю этого ранга большие преимущества. С момента достижения одним из игроков ранга преследователя возникает ситуация, характерная для игр преследования [82].

Таким образом, в реальном конфликте можно выделить два этапа:

этап борьбы за ранг преследователя;

этап преследования (уклонения).

По этой схеме развиваются многие конфликты, в частности спортивные (футбол, фехтование), военные (воздушные сражения) и т. д. Для получения более конкретных выводов все рассуждения в дальнейшем будем вести применительно к схеме «игры двух автомобилей», детально анализируемой в [8]. В этой игре преследователь  $P$  и преследуемый  $E$  движутся на плоскости, скорости  $P$  и  $E$  фиксированы (ограничены), кривизна траекторий ограничена. Решение игры заключается в поиске условий, при которых игрок  $P$  может «поймать» игрока  $E$ . Видим, что этот пример является классическим образцом игры преследования. Мы «модернизируем» схему игры двух автомобилей с учетом рассуждений, изложенных выше. В модернизированном виде эта игра будет выглядеть следующим образом: на первом этапе автомобили ведут борьбу за ранг преследователя; при получении одним из автомобилей ранга преследователя игра сводится к схеме, изученной в [8].

Чем же определяется упорство поединка, который ведут противоборствующие стороны? Условно назовем это понятие силой конфликта, силой взаимодействия противоборствующих сторон. Так вот, упорство поединка в первую очередь определяется жела-

нием (необходимостью) конфликтовать, желанием (необходимостью) противоборствовать. Чем сильнее это желание, чем больше необходимость вести поединок, тем, при прочих равных условиях, упорнее поединок, тем больше сила конфликта. Но одного желания мало для выигрыша поединка. Трудно представить себе человека, вступающего в противоборство (шахматы, футбол и т. д.), который хотел бы проиграть поединок. И тем не менее поединок проигрывается. Очевидно, существует нечто, мало зависящее от желания игроков, которое определяет и силу конфликта, и ход поединка, и его исход. Это «нечто» и есть объективные закономерности, по которым развивается тот или иной поединок.

Если говорить об игре двух автомобилей, то объективные закономерности противоборства формируются в результате взаимодействия динамических объектов с заданными характеристиками. Среди этих характеристик в первую очередь следует отметить рациональную скорость, обеспечивающую, с одной стороны, хорошую маневренность, а с другой — решение задачи догона. Именно скорость определяет необходимый (заданный) уровень кинетической энергии автомобиля. Но сам по себе энергетический уровень еще ничего не говорит о возможностях автомобиля в ситуации противоборства. Более важной характеристикой автомобиля оказывается его способность менять энергетические уровни за минимальное время. Для оценки возможностей автомобиля введем понятие интегральной маневренности, под которой понимается способность автомобиля переходить (обычно по времени) из некоторого заданного начального состояния, характеризуемого положением и скоростью, в некоторое требуемое конечное состояние, характеризуемое теми же параметрами. Время перехода зависит от характеристик разгона и торможения (способность двигателя создавать избытки тяги), угловой скорости разворота, тангенциального ускорения и т. д.

Но обладая интегральной маневренностью, автомобили еще не могут вступить в противоборство, ибо не знают, как распределить свою энергию и в какую точку пространства ее направить. Для того чтобы противоборство состоялось, автомобили должны быть информированы о параметрах своего противника, о ситуации противоборства и т. д. Другими словами, наряду с интегральной маневренностью автомобили должны располагать информационными возможностями, под которыми понимается способность автомобилей (игроков) с помощью аппаратуры или извне получать достаточно надежную информацию о противоборствующем противнике (внешний канал), а также информацию о своих параметрах (внутренний канал). Только при таком объеме информации может быть выработана цепь логических правил и стратегий, обеспечивающая положительный исход игры. Только имея информацию о противнике и о своих параметрах, противоборствующие стороны могут рационально распределить свою энергию между решением задачи противодействия и решением задачи догона и

захвата противника. Чем лучше информация (количество, качество), тем меньшая часть энергии может быть выделена на противодействие (при полной информации выделяется ровно столько энергии, сколько необходимо для компенсации разнообразия противника), а следовательно, тем большая часть энергии выделяется для решения основной задачи. При ухудшении информации (о противнике и о своих параметрах) энергетические затраты на противодействие растут, что означает увеличение сил конфликта (в нашем понимании сила конфликта тем больше, чем больше энергетические затраты). Полнота информации может быть охарактеризована коэффициентом, имеющим вид

$$\eta_0 = E_0 / E_{\Sigma},$$

где  $E_0$  — энергетические затраты на решение основной задачи;  $E_{\Sigma}$  — суммарный энергетический потенциал, необходимый для решения задачи в данных условиях.

Если информация полная, то весь энергетический потенциал идет на решение основной задачи, т. е.  $E_0 \rightarrow E_{\Sigma}$ , а тогда  $\eta_0 \rightarrow 1$ .

Таким образом, реальный конфликт условно может быть разделен на два этапа: информационное противоборство и энергетическое противоборство. На этапе информационного противоборства каждый из противников пытается получить более полную информацию, лишив этой возможности своего партнера по противоборству. Если кому-то из противников это удалось, то он начинает этап энергетического противоборства, имея лучшие предпосылки для получения ранга преследователя. Это связано с тем, что при более полной информации основная задача конфликта решается с минимальными энергетическими затратами. В этом случае при прочих равных условиях (при равных энергетических возможностях автомобилей) определенная (значительная) доля энергии может быть оставлена на компенсацию непредсказуемого движения противоборствующей стороны. Если ни один из противников не получил информационного преимущества, то борьба начинается «на равных». В этом случае успех будет зависеть от: наличия у одного из автомобилей более высокого энергетического потенциала, возможности получения информации о своем противнике в процессе игры, применения рациональных эволюций, требующих меньших энергетических затрат и т. д.

Из вышесказанного следует, что в игровых ситуациях (особенно с неполной информацией) взаимодействуют во времени и пространстве энергетические и информационные процессы. Именно на «пересечении» энергии и информации следует искать объективные законы, которые определяют развитие конфликтной ситуации и ее исход. Энерго-информационная модель противоборства имеет важное достоинство, связанное с оперированием уравнениями низкого порядка, что позволяет широко использовать для получения теоретических и практических результатов аппарат теории дифференциальных игр.

### 1.3. Математическая основа построения моделей противоборства динамических объектов

Математические модели любого физического явления могут строиться на различной основе и иметь различную степень сложности в зависимости от уровня изученности этого явления. На первом (синтаксическом) уровне взаимодействие противоборствующих противников может рассматриваться с позиций известного закона кибернетики — закона необходимого разнообразия. Суть его заключается в том, что для получения ожидаемого результата активный противник, кроме желания выиграть, должен обладать определенным разнообразием ходов [81, 99].

Пусть  $R_1$  — разнообразие ходов игрока  $P$ ,  $R_2$  — разнообразие ходов игрока  $E$ ,  $R_0$  — разнообразие исходов. В логарифмическом виде соотношение, составленное на основе закона необходимого разнообразия, будет иметь вид

$$\ln R_0 = \ln R_1 - \ln R_2. \quad (1.1)$$

Отсюда следует, что  $R_0$  может быть уменьшено за счет соответствующего увеличения  $R_1$  (при условии  $R_2 = \text{const}$ ). При  $\ln R_1 = \ln R_2$  разнообразие исходов  $\ln R_0 = 0$ , т. е. в этом случае существуют объективные предпосылки для решения задачи противоборства с высокой вероятностью.

Использование соотношения типа (1.1) позволяет решать ряд практических задач. В частности, на основе закона необходимого разнообразия можно проводить сравнение потенциальных возможностей противоборствующих противников (статическое сравнение). Смысл этого сравнения заключается в следующем. Предполагается, что разнообразие ходов пропорционально предельному разнообразию, которое может «генерировать» участвующий в поединке игрок (в нашем случае — автомобиль). В фазовом пространстве игры по той или иной методике строятся области предельного разнообразия (фазовый портрет) каждого автомобиля. Эти области накладываются друг на друга и тем самым все фазовое пространство делится на подобласти различного «тактического» назначения:  $R_1 = R_2$ ,  $R_1 < R_2$ ,  $R_1 > R_2$ . Подобласть, где  $R_1 < R_2$ , предпочтительнее для второго автомобиля, а подобласть, где  $R_1 > R_2$ , — для первого автомобиля; в подобласти  $R_1 = R_2$  возможности автомобилей по предельному разнообразию равны. Это далеко не означает, что при этом условии обязательен ничейный исход. Равенство предельных разнообразий противоборствующих автомобилей означает, что с точки зрения закона необходимого разнообразия существуют объективные предпосылки для решения игры в пользу одного из игроков. Выигрыш либо проигрыш того или иного игрока в этом случае определяется закономерностями, по которым развивается игра, т. е. динамикой противоборства [82].

Предельное разнообразие автомобилей, которое используется для статического сравнения, может быть найдено с помощью по-

нения интегральной маневренности, введенного в § 1.2. Поскольку понятие интегральной маневренности объединяет различные качества автомобиля, то должна быть найдена единая математическая основа их объединения. И только после этого критерий интегральной маневренности выражается количественно. Такая математическая основа может быть построена на базе понятия разнообразия [37, 99]. Под разнообразием понимается характеристика элементов множества (как правило, конечного), заключающаяся в их отличии друг от друга, несовпадении. Понятие разнообразия отражает реальный факт, что всякое явление в пределах его наблюдения обладает конечными характеристиками. Количество разнообразия, внутренне присущее конечному объекту или системе, всегда ограничено для определенного уровня исследования и может быть определено с помощью порога различимости [37]. Под этой величиной понимается наибольшее значение модуля разности двух значений наблюдаемой переменной, определяющих состояние динамической системы (объекта), которое не имеет смысла с той или иной точки зрения различать (либо внутри порога различимости значение наблюдаемой переменной становится неопределенным или теряет свой физический смысл, либо наблюдатель внутри этого порога уже не может различать состояние динамической системы или такое различие для него несущественно). Этот порог устанавливается на основе эксперимента, физических законов или даже по соглашению (на основе экспертных оценок). Используя понятие порога различимости, можно определить предельное число различных состояний динамического объекта, участвующего в конфликте. Математически это сводится к определению попарно различных точек, которое содержит пространство  $X$  при различимости  $\varepsilon$ . Это количество зависит не только от значения  $\varepsilon$ , но и от вида метрики в пространстве  $X$ .

Рассмотрим пространство с метрикой  $\rho(x_1, x_2) = |x_1 - x_2| = \varepsilon$ . Тогда два любых состояния  $x_1$  и  $x_2$  будем называть  $\varepsilon$ -различимыми, если  $\rho(x_1, x_2) \geq \varepsilon$ , и  $\varepsilon$ -неразличимыми, если  $\rho(x_1, x_2) < \varepsilon$ . При этом на интервале  $X$  можно указать максимально возможное число  $M_\varepsilon(X)$  различных между собой состояний, определяемое по формуле

$$M_\varepsilon(X) = [\|X\|/\varepsilon] + 1,$$

где  $\|X\|$  — длина отрезка числовой прямой.

В качестве меры максимально возможного разнообразия состояний наблюдаемой переменной  $x$  можно принять  $\varepsilon$ -емкость множества

$$L(X) = \log M_\varepsilon(X). \quad (1.2)$$

По своему смыслу эта величина представляет собой максимальное количество информации, которое может содержаться в случайной величине  $x \in X$ , определяющей состояние какого-либо процесса. Этот максимум достигается, когда все состояния  $x$ , отли-

чающиеся друг от друга на величину порога различимости  $\epsilon$ , равновероятны, т. е.

$$L_{\epsilon}(X) = \max H(X) = \max \left\{ \sum_{i=1}^{M_{\epsilon}} p_i \log p_i \right\} = \max I(X, X),$$

где  $p_i$  — вероятности состояний  $x_i$ ,

$$\sum_{i=1}^{M_{\epsilon}} p_i = 1.$$

Здесь под  $H(X)$  понимается энтропия дискретной случайной величины с распределением  $\{p_i\}$ . Информация  $I(X, X)$  связана не с точностью измерений, а с множеством различных значений  $x$ , которое в общем случае может и не зависеть от точности измерения [37].

Все сказанное выше справедливо для одномерного пространства. Но в рассматриваемом случае имеет место многомерное пространство, поскольку интегральная маневренность зависит от различных качеств динамического объекта (автомобиля). В многомерном случае, когда имеет место различимость по каждому измерению (координате), предельное число различных пар точек, а следовательно, и состояний динамического объекта можно определить как

$$M_{\epsilon}(X) = \prod_i^p M_{\epsilon}(X_i), \quad (1.3)$$

где  $M_{\epsilon}(X_i)$  — число различных значений каждой размерности (координаты).

С учетом (1.2) формула (1.3) может быть представлена в виде

$$\log M_{\epsilon}(X) = \sum_{i=1}^n \log M_{\epsilon}(X_i). \quad (1.4)$$

Формулы (1.3) и (1.4) справедливы для случая независимых координат многомерного пространства. Покажем, что этими формулами (в первом приближении) можно воспользоваться для оценки интегральной маневренности динамического объекта (в нашем случае — автомобиля).

Из формул (1.3) и (1.4) следует, что для определения суммарного разнообразия нужно знать пороги различимости по каждой координате многомерного пространства, т. е. нужно знать пороги различимости всех качеств автомобиля, входящих в понятие интегральной маневренности. Поскольку составляющие интегральной маневренности автомобиля (способность менять энергетические уровни, маневренность и т. д.) представляют собой производные по времени, то задача определения порогов различимости качеств автомобиля может быть сведена к определению порога различимости времени.

В [37] показано, что при заданном пороге различимости  $\varepsilon$  (в соответствующей метрике) вектор функций  $x(t) \in X$  существование отличного от нуля порога различимости времени  $\varepsilon_t$  определяется в общем случае структурными свойствами множества  $X$ . Достаточным условием существования отличного от нуля порога различимости времени  $\varepsilon_t$  является равностепенная непрерывность функций  $x(t)$ ,  $0 \leq t \leq T$ , принадлежащих множеству  $X$ . Предполагая эти условия выполненными, можно предложить простой способ вычисления порога различимости времени.

Пусть дана функция  $x=f(t)$ , значения которой различаются по условию  $\rho(x_i, x_j) \geq \varepsilon$ . Требуется определить различимость аргумента  $t$  при условии различимости самой функции  $f(t)$ . Будем полагать, что функция удовлетворяет условию Липшица на множестве значений параметра  $t$ , т. е.

$$|x(t_i) - x(t_j)| \leq K(t_i - t_j),$$

где  $K$  — постоянная Липшица,  $t_i, t_j \in T$ .

Построим на множестве  $X$   $\varepsilon$ -сеть. Это равносильно тому, что каждому отрезку  $|x_i - x_{i+1}| = \varepsilon$  будет соответствовать конечный отрезок параметра  $|t_i - t_{i+1}|$ . В этом случае можно найти такое значение  $K^*$ , которое обеспечит выполнение условия

$$\varepsilon = |x(t_i) - x(t_{i+1})| \leq K^*|t_i - t_{i+1}|.$$

Из этого соотношения легко находится порог различимости времени

$$\varepsilon_t = \varepsilon / K^*. \quad (1.5)$$

Величину  $K^*$  следует рассматривать как

$$K^* = \max |dx/dt|.$$

Из сказанного следует, что искомые пороги различимости должны представлять собой произведения предельных значений функции и ее производных на порог различимости параметра  $\varepsilon_t$ . Так, если первая производная функции ограничена конечным числом, т. е.

$$|x'(t)| = \|X'\|,$$

то ее порог различимости будет равен

$$\varepsilon_{x'} = \|X\| \varepsilon_t.$$

Найденные таким образом пороги различимости позволяют в первом приближении воспользоваться формулами (1.3) и (1.4). Порядок расчета при этом может быть следующим:

определяется экспертным путем порог различимости по любой координате фазового пространства (потребительский порог различимости);

определяется порог различимости времени по формуле (1.5);

вычисляются пороги различимости всех координат фазового пространства;

по формулам (1.3) и (1.4) оценивается интегральная маневренность автомобиля.

Все сказанное относится к статическому сравнению, которое является весьма важным этапом в изучении возможностей противоборствующих противников. Однако это сравнение не учитывает динамики противоборства, а следовательно, не позволяет построить оптимальный алгоритм поведения участвующих в конфликте игроков.

Математическая модель, основанная на законе необходимого разнообразия, становится более реальной, если учесть информацию, которая имеется у игроков. Это связано с тем, что в процессе противоборства игроки (автомобили) «компенсируют» не все разнообразие, а только часть, являющуюся отраженным разнообразием, т. е. информацией. Указанный факт может быть учтен с помощью коэффициентов информированности игроков, имеющих следующий вид:

$$P_1 = I_{12}/R_2, \quad P_2 = I_{21}/R_1, \quad (1.6)$$

где  $I_{12}$  — информация (отраженное разнообразие) первого игрока;  $I_{21}$  — информация (отраженное разнообразие) второго игрока;  $R_1$ ,  $R_2$  — предельные разнообразия первого и второго игроков соответственно.

Эти коэффициенты показывают, какую часть (долю) предельного разнообразия отражают противоборствующие противники. При условии полного отражения (полной информации) эти коэффициенты равны единице и успех противоборства определяется предельными разнообразиями игроков. С учетом (1.6) необходимое условие успешного противоборства примет следующий вид:

$$P_1 R_2 = P_2 R_1.$$

Из анализа этого соотношения следует, что при условии  $R_1 = R_2$  должны быть равны коэффициенты информированности, т. е.  $P_1 = P_2$ . В противном случае это соотношение нарушается и игрок, имеющий больший коэффициент  $P$ , а следовательно лучшую информацию о своем противнике, имеет преимущество.

Для подсчета информации воспользуемся понятием энтропии на один отсчет [94]. В этом случае одна из основных характеристик процесса — скорость создания энтропии источника сообщений  $V(X)$  — определяется в виде

$$V(X) = kH_{\tau_0}(X),$$

где  $H_{\tau_0}(X)$  — энтропия процесса на один отсчет;  $k = 1/\tau_0$  — число независимых отсчетов в единицу времени.

Скорость создания энтропии оказывается более удобной характеристикой, поскольку она не зависит от длительности процесса. С учетом этого понятия энтропия процесса на выходе объекта



$n$ -го порядка на интервале наблюдения  $T$  имеет вид [45]:

$$H_n(X) = H_0(X) + TV(X), \quad (1.7)$$

где  $H_0(X)$  — энтропия начальных данных процесса;  $V(X)$  — скорость создания энтропии на один отсчет;  $T$  — интервал наблюдения.

Воспользовавшись формулой (1.7), представим разнообразие противоборствующих автомобилей в виде

$$R_1 = R_{01} + V_1 t_2, \quad R_2 = R_{02} + V_2 t_1, \quad (1.8)$$

где  $R_{01}$ ,  $R_{02}$  — разнообразия в начальный момент времени;  $V_1$ ,  $V_2$  — скорости создания разнообразия первого и второго автомобиля соответственно;  $t_1$ ,  $t_2$  — времена взаимодействия первого и второго автомобилей.

Остановимся на сущности  $t_1$  и  $t_2$ . Представим себе следующую картину противоборства. Взаимодействующие противники решают одну задачу: как можно быстрее развернуться на противника. Тот из противников выигрывает поединок, кто решает эту задачу быстрее. Следовательно,  $t_1$  и  $t_2$  являются временами разворота на противника. А поскольку после разворота поединок заканчивается (по условию задачи), то  $t_1$  и  $t_2$  есть времена взаимодействия противоборствующих автомобилей (интервал наблюдения). Если один из автомобилей к моменту обнаружения успел закончить разворот, то тем самым он поставил своего противника в наихудшие условия, сократив ему до нуля интервал наблюдения. Так, если  $t_1 = 0$ , то почти всегда  $R_1 > R_2$  при  $t_2 \neq 0$  и соизмеримых  $R_{01}$  и  $R_{02}$ . Отсюда следует, что противоборствующим автомобилям выгодно иметь малые времена  $t_1$  и  $t_2$ , что соответствует более высоким скоростям разворота, либо достигается соответствующим выбором начального положения. Автомобиль может «добиться успеха» (решить игру в свою пользу) даже при меньшей скорости разворота, но для этого ему нужно выбрать более выгодное начальное положение (степень выгоды определяется временем разворота на противника).

Таким образом, формулы (1.8) позволяют в первом приближении учесть динамику противоборства, поскольку разнообразия, полученные по этим формулам, зависят от положения противоборствующих автомобилей.

Говоря об отраженном разнообразии, о соотношении отраженного и предельного разнообразий (коэффициенты информированности), следует рассмотреть не менее важный вопрос, связанный с возможностью компенсации отраженного разнообразия. Эти возможности автомобиля могут быть охарактеризованы информационным к. п. д., равным отношению отраженного разнообразия к предельному. Здесь отраженное разнообразие понимается как характеристика эффективности информационных систем, которыми располагают противоборствующие автомобили, включая как внешние, так и внутренние источники информации. Исходя из этого, информационные к. п. д. могут рассчитываться по формулам,

имеющим следующий вид:

$$\eta_1 = I_1/R_1, \quad \eta_2 = I_2/R_2, \quad (1.9)$$

где  $I_1$ ,  $I_2$  — отраженное разнообразие (полная информация как внутренних, так и внешних источников) первого и второго автомобилей соответственно.

Из анализа (1.9) следует, что тот из автомобилей будет иметь преимущество в конфликте при  $R_1 = R_2$ , который в большей степени способен компенсировать отраженное разнообразие, т. е. имеет больший коэффициент  $\eta$ . Следовательно, нужно не только стремиться к увеличению предельного разнообразия, но и бороться за больший коэффициент  $\eta$ , что, в свою очередь, требует повышения отраженного разнообразия  $I$ , т. е. информации о противоборствующем противнике и о собственных параметрах движения. Другой вывод, который следует из анализа (1.9), состоит в том, что при  $I = \text{const}$  увеличение предельного разнообразия автомобиля приводит к уменьшению информационного к. п. д. Отсюда следует, что повышение предельного разнообразия должно идти параллельно с повышением информационных ресурсов автомобиля (здесь имеются в виду как внутренние, так и внешние источники информации). В противном случае эффект, вызванный повышением предельного разнообразия, может оказаться крайне низким. Однако не следует забывать, что при высоком предельном разнообразии игрок (автомобиль) может «тратить» часть его на «добывание» информации. Поэтому существуют разумные пределы повышения предельного разнообразия при ограниченных информационных возможностях игроков.

Учет информированности игроков в большей степени отвечает требованиям динамического сравнения, т. е. сравнения, учитывающего не только предельное разнообразие автомобилей, но и динамику противоборства. С учетом информированности в фазовом пространстве игры для каждого из противоборствующих автомобилей могут быть построены зоны предпочтительности не только по предельному разнообразию, но и по отраженному разнообразию. Эти зоны в большей степени характеризуют реализованные возможности противоборствующих противников (хотя бы с точки зрения информационного обеспечения игрока).

При рассмотрении закона необходимого разнообразия и применении его основных положений для решения задачи противоборства акцентировалось внимание только на количественном аспекте информации. Однако, кроме количества и значения (семантики), информация имеет ценность (полезность). И в этом смысле для управления важно не разнообразие вообще, а именно то разнообразие, которое полезно для системы управления (в нашем случае — для игрока). Поэтому из всего существующего разнообразия игрок отбирает ценное, полезное разнообразие, которое ведет к решению поставленной задачи. В общем случае при одном и том же количестве информации мера ее ценности

оказывается зависимой от воспринимающей информационной системы и цели управления.

Отсюда следует, что рассмотренная выше формулировка закона необходимого разнообразия (только разнообразие ходов одного игрока может уменьшить разнообразие ходов другого игрока, а следовательно, разнообразие исходов) позволяет проникнуть в сущность первого порядка (синтаксический уровень). Теория игр и решений не может удовлетвориться этим приближением, хотя и на синтаксическом уровне могут быть получены определенные результаты, а вводит новые понятия, связанные с семантическими и прагматическими характеристиками информации [73].

Выбор решения в дифференциальной игре осуществляется не только на основе отражения того, что существует в данный момент, но и того, что должно произойти в будущем, т. е. речь идет о рассмотрении задачи противоборства в прогнозируемом пространстве. Прогнозирование выступает как необходимый элемент, момент процесса принятия решений, характерный для всех систем, управляемых человеком. Именно предвосхищение поведения противоборствующего противника позволяет построить регулятор по схеме полного регулирования [99]. Даже если прогноз выполняется с ошибками, то и в этом случае автомобиль оказывается в выгодном с энергетической точки зрения положении, поскольку решается задача «компенсации» не положения противоборствующего противника, а ошибок определения его упрежденного положения, т. е. ошибок прогноза.

Но только учет информированности игроков, о котором говорилось выше, не в полной мере отвечает требованиям динамического сравнения, поскольку в этом случае не учитывается роль взаимного положения противоборствующих объектов и его влияние на результат противоборства. На самом деле в фазовом пространстве игры существуют области выгодного положения (на математическом языке — области достижимости) противоборствующих игроков. Не вдаваясь в подробности построения этих областей (более подробно об этом речь пойдет в следующей главе), укажем лишь на то, что размеры областей выгодного положения зависят от потенциальных характеристик (предельного разнообразия) участвующих в конфликте динамических объектов. Это положение не противоречит существованию статического сравнения. Но при сравнении с учетом названных выше областей можно оценить шансы автомобиля, имеющего худшие характеристики, и наметить пути построения рационального поведения. Это следует из того, что любой автомобиль (в том числе автомобиль, обладающий худшими характеристиками) имеет в фазовом пространстве игры область, попав в которую он либо добивается успеха, либо получает большие преимущества (здесь речь идет пока о существовании области, а не о ее размерах, положении в фазовом пространстве и т. д., которые зависят от целого ряда факторов). Только рациональная «тактика» позволяет «наде-

яться» на успех автомобилю, имеющему худшие характеристики. И в этом смысле при динамическом сравнении учитываются не только потенциальные характеристики автомобиля, но и динамика противоборства. Кроме того, при динамическом сравнении возможен учет информированности игроков, участвующих в конфликте. Это связано с тем, что размеры областей выгодного положения зависят не только от характеристик автомобиля, но и от информации о противнике. Предельные области реализуются при полной информации о фазовых координатах противоборствующих противников.

Таким образом, динамическое сравнение оказывается более емким сравнением, поскольку позволяет учесть не только предельные возможности динамических объектов, но и их информационные качества, а также динамику противоборства.

#### **1.4. Термодинамическая модель противоборства двух игроков**

Развивая идеи, изложенные в 1.2, рассмотрим проблему противоборства с позиций термодинамики [83, 85]. Вначале определим объект исследования, т. е. облик физической системы. Под физической системой будем понимать систему двух противоборствующих игроков, объединенных определенным замыслом игры. Поскольку, как было показано выше, элементы противоборства имеют место на любом этапе игры (даже при формально совпадающих интересах), то эту систему следует называть физической системой с противодействием (условно назовем ее системой  $P—E$ ). Если система  $P—E$  является физической системой, то для характеристики происходящих в ней процессов могут использоваться известные термодинамические понятия: энтропия, энергия, рабочие процессы и т. д. В пользу применимости термодинамических параметров для характеристики процессов в системе  $P—E$  говорит тот факт, что эти параметры являются интегральными, а именно эти параметры и позволяют выявить глобальные закономерности, по которым развивается игра.

Попытаемся охарактеризовать происходящие в системе  $P—E$  процессы с помощью понятия энтропии. С тех пор как этот термин применил Клаузиус, он означает меру деградации какой-либо системы. В процессах, происходящих без дополнительного притока энергии извне (изоэнергетические процессы), уменьшение внутренней энергии системы сопровождается пропорциональным увеличением энтропии, и наоборот. Следовательно, энтропия есть мера вероятности физической системы, а ее рост — переход от большего порядка к меньшему. Максимум энтропии достигается при равновесном, наивероятнейшем состоянии системы. Закон возрастания энтропии присущ любой изолированной системе, т. е. системе, предоставленной самой себе. Но в нашем случае имеет место не просто изолированная система, а система с противодействием. Для таких систем закон возрастания энтропии действует не в меньшей мере.

В системах с противодействием можно наблюдать несколько потоков энтропии. Первый поток характеризует возрастание энтропии как и в любой физической системе; мощность этого потока определяется градиентом естественного увеличения энтропии  $\dot{H}_E$ . Элементы противоборства приводят к появлению потока энтропии, мощность которого определяется градиентом искусственного увеличения энтропии  $\dot{H}_И$ . Величина этого градиента может изменяться в довольно широких пределах в зависимости от решаемых задач (в зависимости от целей игры). Однако эти пределы не безграничны, а вполне конечны и определяются информацией (количеством информации) о противоборствующих сторонах. Чем полнее информация у игрока о своем противнике, тем в большей степени он может использовать правило искусственного увеличения энтропии.

А что же препятствует росту энтропии? Препятствует росту энтропии свободная энергия, полученная системой в процессе противоборства. Эта энергия (избыток энергии) образует поток «отрицательной энтропии», мощность которого характеризуется градиентом  $\dot{H}_0$ . Появление этого потока равносильно появлению управляющего начала в системе  $P-E$ , т. е. равносильно введению в систему  $P-E$  информации. Чем больше это управляющее начало, тем по более жестким законам движутся противоборствующие стороны, что приводит к возрастанию вероятности достижения цели игры.

Итак, энтропия системы  $P-E$  определяется суммой перечисленных выше потоков, т. е.  $\dot{H}_\Sigma = \dot{H}_E + \dot{H}_И + \dot{H}_0$ . Если  $\dot{H}_E + \dot{H}_И \gg \dot{H}_0$ , то взаимодействие противоборствующих противников быстро распадается, что равносильно ничейному исходу. Если же  $\dot{H}_E + \dot{H}_И \leq \dot{H}_0$ , то система  $P-E$  может иметь стационарное состояние, т. е. такое состояние, когда отток энтропии во внешнюю среду и приток «отрицательной энтропии» в виде свободной энергии (избытков энергии) компенсируют друг друга. Именно в стационарном состоянии действуют объективные законы, по которым живет и развивается система  $P-E$ . Время «жизни» системы в стационарном состоянии определяется величиной энергии (величиной избытков энергии). Чем больше эта величина, тем более тесно взаимодействуют противоборствующие стороны друг с другом, тем более вероятно, что сторона, имеющая избыточную энергию, решит игру в свою пользу. В этих рассуждениях избыточная энергия понимается как источник негэнтропии, которая препятствует распаду системы  $P-E$ , т. е. удерживает во взаимодействии противоборствующие стороны. Заметим, что необходимым условием существования решения игры является условие  $\dot{H}_0 > 0$ .

Таким образом, если рассматривать систему  $P-E$  как термодинамическую, то только избытки энергии (способность совершить работу по удержанию противников во взаимодействии) являются «демпфером» на пути возрастания энтропии. Именно эти избытки энергии позволяют в условиях лавинообразного

нарастания энтропии решать задачу игры с заданной вероятностью. Если все сказанное имеет право на жизнь, то можно сформулировать один из принципов противоборства: каков бы ни был энергетический запас динамического объекта (автомобиля), имеющего ранг преследователя, со временем он теряется, а это приводит к росту энтропии системы  $P-E$ . Поскольку энергетический запас всегда ограничен, то это в конечном итоге не может препятствовать росту энтропии в системе. Следовательно, чем больше время игры, тем меньше шансов добиться успеха.

Продолжим далее рассмотрение системы с противодействием с точки зрения возможности получения избытков энергии на различных этапах игры. В качестве этапов будем рассматривать этап завоевания ранга преследователя и этап сближения (речь идет о дифференциальных играх). Этим этапам соответствуют и два состояния системы с противодействием. Чем же характерны эти состояния?

На этапе сближения в системе  $P-E$  происходит интенсивное нарастание энтропии, поскольку преследователь ценой энергетических потерь пытается решить основную задачу, а преследуемый любыми путями пытается воспрепятствовать этому, что также достигается ценой энергетических потерь, а следовательно, ценой возрастания энтропии. Поэтому этот этап по своей сути предполагает наличие энергетического избытка, обеспечивающего взаимодействие (энергетическую связь) преследователя и преследуемого. С точки зрения термодинамики этап сближения — этап «расхода» энергии, этап «генерирования» энтропии, а следовательно, этап, на котором преследователь ухудшает свое положение (по крайней мере, не улучшает). Если не учитывать ошибок преследуемого, то маловероятно, что преследователь на этапе сближения может «пополнить» запас энергии.

Отсюда следует, что более реально получение избытков энергии на этапе борьбы за ранг преследователя. На этом этапе противоборствующие объекты находятся в информационном и энергетическом взаимодействии (начало этого этапа связано с информационным взаимодействием, конец — с информационным и энергетическим взаимодействием). Начало энергетического взаимодействия противоборствующих сторон, как правило, приводит к энергичному росту энтропии, что объясняет трудности в получении избытков энергии при этом виде взаимодействия. Решение основной задачи противоборства при энергетическом взаимодействии динамических объектов предполагает применение выгодных с энергетической точки зрения стратегий, а это в свою очередь связано с информационным преимуществом (лучшая информация позволяет применить и более выгодные стратегии). Если же информационного преимущества не достигнуто (противоборствующие стороны имеют равную информацию друг о друге), то получение избытков энергии при энергетическом взаимодействии сопряжено с большими трудностями, исключая ошибки игроков.

Таким образом, основным видом взаимодействия, обеспечи-

вающим одному из игроков ранг преследователя, оказывается информационное взаимодействие.

Остановимся на динамике формирования избытков энергии.. Пусть при встрече противники имеют равные информационные возможности. В этом случае, если противники в дальнейшем будут действовать безошибочно, то трудно ожидать, что кто-либо из них получит ранг преследователя. Следовательно, игрок только в том случае получит ранг преследователя (при разумном противоборстве со стороны другого игрока), если будет иметь на начальном этапе игры информационное преимущество. Чем больше это преимущество, тем большие избытки энергии может иметь та или иная противоборствующая сторона. Трудно ожидать, что информационное преимущество достигается только за счет собственных информационных ресурсов противоборствующих игроков. Чаше всего информационное преимущество формируется за счет «внешней» информации, основными источниками получения которой являются другие игроки (партнеры по игре). В этом случае игра превращается из одиночного противоборства в противоборство коалиций.

Из сказанного может быть сформулирован один из принципов игры: выигрыш формируется на начальном этапе игры, а именно на этапе информационного взаимодействия. Именно на этом этапе игрок получает избыток энергии, который дает ему ранг преследователя при энергетическом взаимодействии.

Итак, противоборство двух или более игроков может быть формализовано в виде термодинамической системы с противодействием. Основными «силами», отклоняющими систему от равновесия, и, следовательно, определяющими время жизни системы  $P-E$ , являются избытки энергии (свободная энергия) и информация. Если избытки энергии формируются только за счет внутренних ресурсов системы, то информация может быть как «внутренней», так и «внешней». А это значит, что термодинамическая система с противодействием обменивается информацией с внешней средой. Такая система уже не может трактоваться как изолированная система; скорее всего, это условно изолированная система. Под условно изолированной системой будем понимать систему, которая имеет канал обмена информацией с внешней средой. Феноменологические закономерности процессов, происходящих в такой системе, могут быть объективной основой для изучения глобальных закономерностей противоборства двух и более игроков.

### **1.5. Элементы теории возможностей и принятие решений на лингвистическом уровне**

В предыдущих параграфах уже говорилось, что для построения адекватных моделей противоборства нельзя ограничиваться только статистической теорией информации, которая хорошо отражает закономерности сбора, кодирования, передачи и приема данных.

Более адекватные модели, а ими могут оказаться модели с включением человека, предполагают учитывать смысл (семантику) сообщений. С появлением идеи о том, что смысл высказывания человека можно формализовать нечеткими и лингвистическими переменными, которые, в свою очередь, носят характер оценок возможностей, началось обсуждение математической трактовки категории «возможность». Основные идеи создания и использования теории возможностей изложены в работах [105, 106]. Центральным в теории возможностей является понятие распределения возможностей, смысл которого на формальном уровне можно объяснить на основе нечеткого ограничения [47, 48, 66].

Пусть  $X$  — название переменной, которая принимает значения из области определения  $U = \{u\}$ , а  $F$  — нечеткое подмножество множества  $U$  с функцией принадлежности  $\mu_F: U \rightarrow [0, 1]$ . Обозначим нечеткое ограничение, связанное с  $X$ , через  $R(X)$ . Тогда тот факт, что  $F$  является нечетким ограничением относительно  $X$ , формализуется в виде равенства  $R(X) = F$ . Смысл высказывания  $V: \langle X \text{ есть } F \rangle$  относительно некоторого объекта  $\Omega$  может быть выражен при помощи уравнения

$$R(X(\Omega)) = F, \quad (1.10)$$

где  $X(\Omega)$  — свойство, характерное для объекта  $\Omega$  и количественно измеряемое при помощи  $U$ .

С учетом введенных обозначений распределение возможностей  $\pi_x$ , связанное с переменной  $X$ , постулируется равным  $R(X)$ . Высказывание  $V: \langle X \text{ есть } F \rangle$  связывает при помощи выражения (1.10) некоторое качественное понятие, которому соответствует  $F$ , с  $X(\Omega)$ . Поэтому функция распределения возможностей  $\pi_x$  численно равна  $\mu_F$ , т. е.  $\pi_x \triangleq \mu_F$ . Тот факт, что высказано утверждение  $V: \langle X \text{ есть } F \rangle$ , означает: возможность переменной  $X$  принимать значения  $u \in U$  равняется  $\mu_F(u)$ .

Рассмотрим определение и интерпретацию элементарной возможности  $\pi_x$  для случая, когда имеется структуризованный критерий  $h$ . Предположим, что  $h$  представляет собой критерий, который определяет совместимость элементов  $x \in X$  с некоторым понятием  $\phi$ . Пусть абстрактная ситуация  $S_x$  характеризуется  $N$ -мерным вектором значений элементов некоторого множества  $\bar{S} = \{s_1, \dots, s_\beta, \dots, s_N\}$  и в результате эксперимента в указанном выше порядке происходит  $N$  элементарных событий, заключающихся в том, что  $s_\beta$  попадает в состояние  $s'$  или  $s''$ .

Любое событие, факт наступления которого можно обусловить наступлением элементарных событий, назовем событием второго порядка ( $Q$ -событием). Допустим, что состояние  $s'$  благоприятствует появлению  $Q$ -события. Тогда линейная возможность  $\pi(Q)$  любого события  $Q$  есть отношение числа  $m$  элементарных событий типа  $s'$ , благоприятствующих  $Q$ -событию, к общему числу  $N$  элементарных событий, т. е.  $\pi(Q) = m/N$ . Из этого определения следует, что  $0 \leq \pi(Q) \leq 1$ . На первый взгляд может показаться, что понятие «возможность события» аналогично понятию



«вероятность события». Однако это не совсем так. Понятие вероятности выводится на основе гипотезы о том, что для всех  $s_\beta$  состояния  $s'$  и  $s''$  равновозможные. В случае оценки  $\pi(Q)$  это не предполагается: шансы появления  $s'$  оцениваются выше для элементов  $s_\beta$  с меньшими порядковыми номерами.

Обозначим ситуацию в точке  $x$  коротким

$$\Delta x = \langle h_x^*, h_x^0, E_x \rangle,$$

где  $h_x^*$  и  $h_x^0$  — границы, определяющие высказывания лица, принимающего решение (л. п. р.);  $E_x$  — оценка критерия  $h$  в точке  $x$ .

В частном случае  $E_x$  содержит лишь один элемент  $h_x^E \in h$ . Так как ситуация  $\Delta x$  должна анализироваться для всех  $x \in X$ , возникает необходимость восстановления функций  $h^* = f^*(x)$  и  $h^0 = f^0(x)$ , которые будем называть уровнями ограничениями [47, 48, 66]. Эти ограничения отражают тот факт, что в сознании индивида существуют множества идеальных, допустимых и недопустимых значений критерия  $h$  с точки зрения наступления события  $Q$ . Интерпретацией элементарной возможности  $\pi_x(Q)$  является степень близости реальной ситуации  $S_x$  и ситуации  $S_x^*$ , которая идеально соответствует понятию  $\varphi$ .

Пусть полностью определены следующие отображения:

$$\begin{aligned} f_1: X \rightarrow E_X; \quad f_2: X \rightarrow h_X^0, \quad f_3: X \rightarrow h_X^*, \\ \text{где} \quad h_X^* = \{h_x^*\}, \quad h_X^0 = \{h_x^0\}, \quad E_X = \{h_x^E\}. \end{aligned}$$

Тогда задача определения  $\pi_x$  сводится к задаче поиска отображения  $\mu_\varphi: \xi \rightarrow [0, 1]$ , где  $\xi$  — подмножество множества элементов декартова произведения  $E_X h_X^0 h_X^*$ , состоящее из троек с одинаковыми индексами  $x$ . Для решения поставленной задачи можно воспользоваться формулой [48, 66].

$$\pi_x(Q) = \begin{cases} 1, & \text{если } h_x^E \geq h_x^*, \\ \frac{h_x^E - h_x^0}{h_x^* - h_x^0}, & \text{если } h_x^0 \leq h_x^E \leq h_x^*, \\ 0, & \text{если } h_x^E \leq h_x^0. \end{cases}$$

Общий вид уровней ограничений и функции  $\mu_\varphi(h)$  представлен на рис. 1. Нетрудно убедиться, что функция совместности  $\mu_\varphi(h)$  представляет собой прямую в интервале  $[h^0, h^*]$  (отсюда термин «линейная возможность»). Если эта гипотеза на практике не подтверждается, то полученные на такой основе оценки называются нелинейными возможностями. При решении практических задач чаще всего встречаются ситуации, когда  $h^* = f^*(x)$ ,  $h^0 = f^0(x)$  — монотонные функции и  $h^* = f^*(x)$ ,  $h^0 = f^0(x)$  — немонотонные функции.

Попытаемся использовать аппарат теории возможностей для численного выражения представлений л. п. р. о потенциальных возможностях динамических объектов, т. е. для решения задачи статического сравнения [47, 48]. Выберем в качестве оцениваемых параметров интегральную маневренность первого и второго объектов, т. е.  $X_I$  и  $X_{II}$ , и будем полагать, что л. п. р., зная

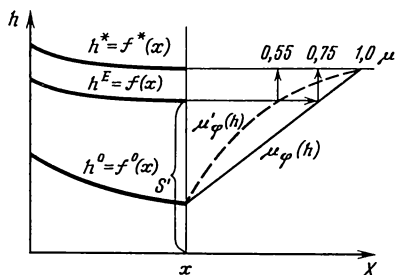


Рис. 1.  
Уровневые ограничения и функция  $\mu_\varphi(h)$

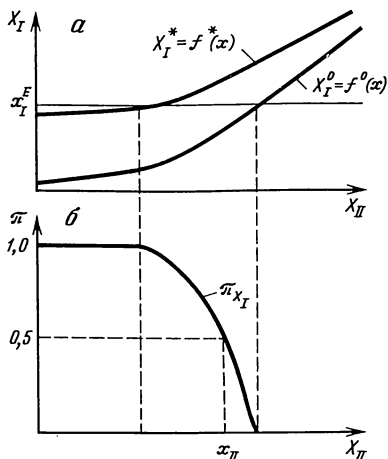


Рис. 2.  
Построение распределения возможностей:  
а — уровневые ограничения;  
б — распределение возможностей

возможность первого объекта, оценивает степень его приспособленности для решения задачи противоборства с вторым объектом. Если исходить из того, что л. п. р. является квалифицированным экспертом (группой экспертов), решающим поставленную задачу, то в фазовой плоскости, характеризующей изменение интегральных маневренности первого и второго объектов, могут быть построены уровневые ограничения  $X_I^* = f^*(x)$  и  $X_I^0 = f^0(x)$  (рис. 2). Смысл этих зависимостей заключается в следующем. Если интегральная маневренность первого объекта  $x_I^E$  меньше или равна  $X_I^0$ , то с точки зрения л. п. р. этот объект не имеет возможности противоборствовать второму объекту. Если  $x_I^E \geq X_I^*$ , то возможность противоборства оказывается «идеальной». В остальных случаях возможность противоборства находится в пределах, определяемых диапазоном изменения выбранного критерия (от недопустимого до «идеального»).

Если л. п. р. известно значение интегральной маневренности первого объекта  $x_I^E$ , то при фиксированном значении  $x_{II} \in X_{II}$  на основе кортежа значений  $\langle X_I^0, X_I^*, x_I^E \rangle$  элементарная возможность противоборства второму объекту имеет вид

$$\pi_{x_I} = \begin{cases} 0, & \text{если } x_I^E < X_I^0; \\ \frac{x_I^E - X_I^0}{X_I^* - X_I^0}, & \text{если } X_I^0 \leq x_I^E \leq X_I^*; \\ 1, & \text{если } x_I^E > X_I^*. \end{cases} \quad (1.11)$$

При расчетах по формуле (1.11) используется гипотеза о линейном характере функции совместимости  $\mu(x)$  элементов  $x_I \in X_I$  и состояния, признанного л. п. р. «идеальным». Объединение элементарных возможностей  $\bigcup_{x_{II} \in X_{II}} \pi_{x_I}$  будем называть распределением возможностей первого объекта и обозначать символом  $\pi_{x_I}$ . Это распределение при условии, что л. п. р. имеет сведения об интегральной маневренности второго автомобиля

(скажем,  $x_{II}$ ), позволяет найти численное значение возможности противоборства динамических объектов (см. рис. 2). Если в распоряжении л. п. р. имеется ряд объектов с различными характеристиками  $x_1^{E_1}$ ,  $x_1^{E_2}$ ,  $x_1^{E_3}$ , то можно получить три распределения возможностей  $\pi_{x_1}$  и соответственно три возможности противоборства второму объекту.

Более реальной может оказаться ситуация, когда информация о противнике (II объект) представляет собой распределение вероятностей  $P_x$ , т. е. переменная  $X_{II}$  связана как с распределением возможностей, так и с распределением вероятностей. В этом случае может быть подсчитана ожидаемая вероятность противоборства

$$M = \int \pi(x) p(x) dx, \quad (1.12)$$

где  $\pi(x)$  — функция возможностей,  $p(x)$  — функция плотности вероятностей.

Аналогично может быть решена задача сравнения информационных возможностей динамических объектов, для чего необходимо построить на множестве значений интегральной маневренности второго объекта распределение возможностей  $\pi_\eta$ , инициируемых другим фактором, а именно информационным к. п. д. первого объекта. В результате на множестве значений интегральной маневренности второго объекта имеют место два распределения возможностей  $\pi_{x_1}$  и  $\pi_\eta$  и возникает задача оценки «комплексной» возможности противоборства динамических объектов на основе операндов  $\pi_{x_1}$  и  $\pi_\eta$  (далее соответственно  $\pi_1$  и  $\pi_2$ ). Понятно, что  $\pi_1$  и  $\pi_2$  представляют собой нечеткие подмножества области рассуждений  $X_{II}$ ; тогда объединение  $\pi_1 \cup \pi_2$  и пересечение  $\pi_1 \cap \pi_2$  также являются нечеткими подмножествами  $X_{II}$ . Причем при независимости операндов  $\pi_1$  и  $\pi_2$  объединение и пересечение определяются стандартными операциями теории нечетких множеств.

$$\pi_1 \cup \pi_2 \Delta \int_{x_{II}} \pi_1(x) \vee \pi_2(x) | x_{II}, \quad (1.13)$$

$$\pi_1 \cap \pi_2 \Delta \int_{x_{II}} \pi_1(x) \wedge \pi_2(x) | x_{II}, \quad (1.14)$$

где  $\vee$  и  $\wedge$  означают соответственно максимум и минимум.

Операция (1.14) может быть использована при анализе возможностей противоборства, если л. п. р. считает, что преимуществ, получаемые от факторов  $X_1$  и  $\eta$ , несравнимы и нужно руководствоваться соображениями минимизации потерь от наиболее «жестких» ограничений. В случае интуитивной взаимосвязи (компенсации возможностей) операндов можно воспользоваться операциями

$$\pi_1 \cup \pi_2 \Delta \int_{x_{II}} \pi_1(x) + \pi_2(x) - \pi_1(x) \pi_2(x) | x_{II}, \quad (1.15)$$

$$\pi_1 \cap \pi_2 \Delta \int_{x_{II}} \pi_1(x) \pi_2(x) | x_{II}. \quad (1.16)$$

Целый ряд интересных задач выбора решений возникает, если интегральная маневренность первого объекта задана как недетерминированная величина. В ряде случаев задачу можно свести к рассмотренным выше, если в качестве значения  $x_1^E$  использовать математическое ожидание интегральной маневренности первого объекта. При необходимости учета отношения л. п. р. к риску правило выбора (1.12) должно модифицироваться с помощью оценок ожидаемой полезности. Разные постановки задач выбора данного класса и соответствующие им решающие правила приведены в работе [22].

## МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ КОНФЛИКТА УПРАВЛЯЕМЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

### 2.1. Неантагонистические игры качества

Термин «неантагонистическая игра» отражает то обстоятельство, что интересы игроков в конфликте не являются строго противоположными. Под играми качества понимаются игры, в которых исход для каждого игрока имеет лишь два значения. Наиболее близки к рассматриваемому классу игр в идейном отношении игры с ненулевой суммой [24].

Рассмотрим модель конфликта двух лиц, исключаящую переговоры (бескоалиционный конфликт), в которой игроки стремятся увеличить свой выигрыш и уменьшить выигрыш противника. Наиболее распространенным принципом оптимальности, используемым для анализа такого рода конфликтов, является максиминный принцип, суть которого сводится к следующему: выбором стратегий игроки стремятся обеспечить себе гарантированные выигрыши

$$\max_{x_1 \in X_1} \min_{x_2 \in X_2} F_1(x_1, x_2) \quad \text{и} \quad \max_{x_2 \in X_2} \min_{x_1 \in X_1} F_2(x_1, x_2),$$

где  $F_1(x_1, x_2)$  и  $F_2(x_1, x_2)$  — функции выигрыша первого и второго игрока соответственно. Такой принцип хорошо описывает антагонистические конфликты, в которых увеличение выигрыша одного из игроков ведет к такому же уменьшению выигрыша другого игрока, т. е. максиминные стратегии образуют равновесные ситуации, что означает их устойчивость (ни один из игроков не станет уклоняться от таких стратегий, поскольку это не ведет ни к увеличению его выигрыша, ни к уменьшению выигрыша противника). Кроме того, в случае антагонистического конфликта максиминные стратегии обладают свойством прямоугольности (игрокам безразлично, какой из равновесных стратегий придерживаться).

В случае неантагонистического конфликта максиминные стратегии уже не образуют ситуации равновесия и игроки могут оказаться заинтересованными в отклонении от таких стратегий. Для подобных конфликтов естественным обобщением принципа оптимальности является ситуация равновесия по Нэшу, дающая выигрыш не меньший чем максиминные стратегии, но не обладающая свойством прямоугольности, что приводит к необходимости переговоров [59]. Кроме того, в подобного рода конфликтах меняется само понятие равновесия: игрок может оказаться заинтересованным в отклонении от некоторой ситуации, даже если это

не ведет к увеличению его выигрыша, но зато приводит к уменьшению выигрыша противника. Это обстоятельство в дальнейшем будем именовать антагонизмом поведения [26]. Заметим, что антагонизм поведения может возникнуть и при отсутствии антагонизма интересов.

Отсюда следует, что существуют игры, в которых антагонизм поведения естественно вытекает из свойств функций выигрыша, но есть и такие игры, в которых антагонизм поведения не определяется функциями выигрышей, а диктуется какими-либо другими соображениями, вытекающими из природы анализируемого конфликта. Уточним понятие конфликта с антагонистическим поведением в случае, когда функции выигрыша есть характеристические функции [5].

Пусть  $\langle X_1, X_2, F_1, F_2 \rangle$  — игра качества, для которой заданы два отображения  $F_1: X_1 X_2 \rightarrow \{0, 1\}$  и  $F_2: X_1 X_2 \rightarrow \{0, 1\}$ ; тем самым каждой ситуации  $(x_1, x_2) \in X_1 X_2$  поставлена в соответствие пара чисел из множества  $\{(0, 0), (0, 1), (1, 0), (1, 1)\}$ . Тогда на множестве  $X_1 X_2$  возникают естественные предпочтения для противоборствующих игроков:

для первого игрока

$$(1, 0) \succ_{(0,0)}^{(1,1)} (0, 1);$$

для второго игрока

$$(0, 1) \succ_{(0,0)}^{(1,1)} (1, 0)$$

Эти отношения предпочтения позволяют уточнить смысл понятия «антагонистическое поведение». С точки зрения каждого игрока, предпочтительнее оказывается та ситуация, в которой его выигрыш больше, а выигрыш противника меньше. Совокупность  $\langle X_1, X_2, F_1, F_2, A_1, A_2 \rangle$ , где  $F_1, F_2: X_1 X_2 \rightarrow \{0, 1\}$  и  $A_1, A_2$  — антагонистические предпочтения, порожденные функционалами  $F_1$  и  $F_2$ , называется игрой качества с антагонистическим поведением в нормальной форме. Поскольку в дальнейшем рассматриваются только игры с антагонистическим поведением, то антагонистическое предпочтение в формулировке игры явно указываться не будет, и неантагонистическая игра качества в нормальной форме с антагонистическим поведением будет обозначаться совокупностью  $\langle X_1, X_2, F_1, F_2 \rangle$ , где  $X_i$  — множества стратегий игроков,  $F_i$  — характеристические функционалы, заданные на множестве  $X_1 \times X_2$  и порождающие антагонистические отношения предпочтения игроков.

Возникает вполне естественный вопрос: что же понимать под решением таких игр?

Для ответа на этот вопрос выполним операцию расширения стратегий, т. е. будем полагать, что, кроме выбора стратегий из множеств  $X_1$  и  $X_2$ , игроки могут придерживаться одной

из следующих стратегий: минимизации выигрыша противника (защитная стратегия) или максимизации своего выигрыша (атакующая стратегия). Эти две стратегии и будут расширением множеств стратегий  $X_1$  и  $X_2$  подобно тому, как смешанные стратегии являются расширением множества чистых стратегий [5]. Результатом расширения множества стратегий  $X_1$  и  $X_2$  двумя стратегиями (атакующей и защитной) является биматричная игра активности с матрицами выигрышей

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{pmatrix}.$$

Для определенности будем полагать, что первая стратегия у каждого игрока атакующая, т. е. соответствует стремлению игрока увеличить свой выигрыш, а вторая — защитная, соответствует стремлению уменьшить выигрыш противника.

При антагонистическом поведении игроков (один атакует, а другой защищается) поиск решения игры не вызывает трудностей, поскольку в этом случае возникает чисто антагонистический конфликт, предполагающий наличие ситуаций равновесия:

$$a_{12} = \max_{x_1 \in X_1} \min_{x_2 \in X_2} F_1(x_1, x_2) = \min_{x_2 \in X_2} \max_{x_1 \in X_1} F_1(x_1, x_2),$$

$$b_{21} = \max_{x_2 \in X_2} \min_{x_1 \in X_1} F_2(x_1, x_2) = \min_{x_1 \in X_1} \max_{x_2 \in X_2} F_2(x_1, x_2),$$

где  $F_1(\cdot)$  и  $F_2(\cdot)$  — функционалы выигрышей в исследуемой игре качества с антагонистическим поведением.

Отклонение от равновесных стратегий в антагонистических играх ведет к увеличению выигрыша противника. Поэтому естественно потребовать выполнение неравенств

$$a_{11} \geq a_{12} \geq a_{22}, \quad b_{11} \geq b_{21} \geq b_{22}.$$

Внеся эти неравенства в матрицы  $A$  и  $B$ , получим

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} \geq a_{12} \\ \vee \\ a_{21} \quad a_{22} \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} \\ \vee & \\ b_{21} \geq b_{22} \end{pmatrix}.$$

Существование седловых точек в антагонистических играх означает, что существует пара стратегий, для которых выполнено условие

$$a_{12} = F_1(x_1^*, x_2^*) = \max_{x_1} \min_{x_2} F_1(x_1, x_2) = \min_{x_2} \max_{x_1} F_1(x_1, x_2).$$

Поскольку рассматриваются игры качества, то функционал принимает значение либо 0, либо 1. Из сказанного следует ряд утверждений [5].

У т в е р ж д е н и е 1.

Если  $F_1(x_1^*, x_2^*) = 1$ , то  $\forall x_2 F_1(x_1^*, x_2) = 1$ ;

если  $F_1(x_1^*, x_2^*) = 0$ , то  $\forall x_1 F_1(x_1, x_2^*) = 0$ .

Это утверждение означает, что если первый игрок, придерживаясь атакующей стратегии, может обеспечить себе единичный выигрыш, то второй игрок при выборе своей защитной стратегии ничем не стеснен и может использовать эту свободу для увеличения своего выигрыша. При наличии у первого игрока нескольких стратегий, дающих ему единичный выигрыш, он может решать задачу уменьшения выигрыша противника (поскольку свой выигрыш он уже увеличить не может).

Указанные соображения дают возможность определить значение  $b_{12}$  следующим образом. Пусть  $(x_1^*, x_2^*)$  — равновесная пара в антагонистической игре  $\langle X_1, X_2, F_1, -F_1 \rangle$  и  $X_1^*$  — множество максиминных стратегий первого игрока. Тогда в силу утверждения 1  $F_1(x_1, x_2) = 1 \quad \forall x_1 \in X_1^*, \forall x_2 \in X_2$ , т. е. функционал  $F_1(\cdot)$  постоянен на множестве  $X_1^* X_2$ . Рассмотрим антагонистическую игру  $\langle X_1^*, X_2, -F_2, F_2 \rangle$ , имеющую седловую точку:

$$b_{12} = \max_{x_2 \in X_2} \min_{x_1 \in X_1^*} F_2(x_1, x_2) = \min_{x_1 \in X_1^*} \max_{x_2 \in X_2} F_2(x_1, x_2).$$

Если в равновесной ситуации  $F_1(x_1^*, x_2^*) = 0$ , то, обозначив знаком  $X_{2*}$  множество минимаксных стратегий второго игрока в игре  $\langle X_1, X_2, F_1, -F_1 \rangle$ , получим

$$b_{12} = \max_{x_2 \in X_{2*}} \min_{x_1 \in X_1^*} F_2(x_1, x_2) = \min_{x_1 \in X_1^*} \max_{x_2 \in X_{2*}} F_2(x_1, x_2).$$

Аналогичные рассуждения для случая, когда первый игрок придерживается защитной стратегии, а второй — атакующей, позволяют определить значение величины  $a_{21}$ .

Потребовав, чтобы значения функционалов на введенных стратегиях (атака и защита) также принимали значения 0 или 1, получим различные комбинации матриц  $A$  и  $B$ , представленные в табл. 1 (всего 64 различных комбинации). В действительности не все возможные комбинации матриц соответствуют оптимальному поведению игроков. Введем утверждения, с помощью которых могут быть уменьшены возможные комбинации матриц.

У т в е р ж д е н и е 2.

Из равенства  $a_{12} = b_{21}$  следует  $a_{12} = b_{21} = a_{21} = b_{12}$ .

У т в е р ж д е н и е 3.

3.1. Если  $a_{12} = 1$ , то  $b_{11} = b_{12}$ .

3.2. Если  $b_{21} = 1$ , то  $a_{11} = a_{21}$ .

У т в е р ж д е н и е 4.

4.1. Если  $a_{12} = 0$ , то  $b_{22} = b_{12}$ .

4.2. Если  $b_{21} = 0$ , то  $a_{22} = a_{21}$ .



Значения матриц  $A$  и  $B$ 

Таблица 1

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	1	0	1	1	1	1	1
2	0	1	1	1	0	1	1	1
3	0	0	1	0	0	0	0	0
4	0	0	1	0	0	0	0	0
5	1	1	1	0	1	1	1	1
6	1	1	1	0	1	1	1	1
7	1	0	1	0	1	0	1	0
8	0	0	1	0	0	0	0	0

Доказательства утверждений приведены в работе [5].

Утверждения 2, 3 и 4 позволяют вычеркнуть из табл. 1 часть цифр (решения, противоречащие утверждениям 2 и 4, вычеркнуты чертой сверху вниз, а противоречащие утверждению 3, вычеркнуты чертой снизу вверх). В результате этой операции остается 16 возможных комбинаций матриц А и В. Предположив, что в ситуации противоборства игрок будет использовать предпочтительную стратегию и оставив в клетках табл. 1 лишь выигрыши, соответствующие предпочтительным поведением игроков, получим табл. 2.

Таблица 2

Приведенные значения матриц А и В							
А	В	2	3	4	5	6	7
2				(1,0) А			(1,1) (0,0)
3			(1,1) (0,0) (0,0) (0,0) А	3 (0,0) А			
4		(0,1) 3	(0,0) А	(0,0)	(0,1)		
5				(1,0)	(1,1)	(1,1)	А 3 (1,0)
6					А (1,1)	(1,1) (1,1) (0,0)	
7		(1,1) (0,0)			(0,1)	3	

Буквы в клетках табл. 2 указывают предпочтительное поведение игрока в соответствующей игре: А — атакующее, 3 — защитное поведение (для первого игрока буквы проставлены в левом нижнем углу клетки, для второго — в правом верхнем углу).

Результаты, сведенные в табл. 2, позволяют провести классификацию неантагонистических игр качества с антагонистическим поведением. Игры, в которых первый игрок может добиться распределения выигрышей (1, 0), будем называть играми типа В1. К ним относятся игры, соответствующие клеткам 2—4, 5—4, 5—7 табл. 1, 2. Игры, в которых второй игрок может добиться распределения выигрышей (0, 1), будем называть играми типа В2 (клетки 4—2, 4—5, 7—5). Игры с распределением выигрышей (1, 1) будем называть играми типа ЖН («жесткая» ничья). К ним относятся игры, соответствующие клеткам 5—5, 5—6, 6—5. Игры с распределением выигрышей (0, 0) будем называть играми типа МН («мягкая» ничья). К ним относятся игры, соответствующие клеткам 3—4, 4—3, 4—4. Игры, в которых первый игрок может осуществить выбор между ЖН и МН, будем называть играми

типа А1 (альтернативное решение первого игрока). К играм этого типа относится игра 2—7. Игры, в которых второй игрок может осуществить выбор между ЖН и МН, навязав этот выбор первому игроку, будем называть играми типа А2 (альтернативное решение второго игрока). К играм этого типа относится игра 7—2. Игры, в которых любой игрок может выбрать в качестве исхода «мягкую» ничью, будем называть играми типа ВМ (возможность «мягкой» ничьей), а «жесткую» ничью — играми типа ВЖ (возможность «жесткой» ничьей). К играм этого типа относятся игры 3—3 и 6—6 соответственно.

С точки зрения гарантированного результата игры типа ВМ и МН, а также ВЖ и ЖН не различаются (в первой паре любой игрок может гарантировать «мягкую» ничью, во второй паре — «жесткую» ничью). Предполагая, что игроки придерживаются гарантированного результата, можно выделить следующие типы игр:

- В1 — первый игрок может гарантировать исход (1, 0);
- В2 — второй игрок может гарантировать исход (0, 1);
- ЖН — оба игрока могут гарантировать исход (1, 1);
- МН — оба игрока могут гарантировать исход (0, 0);
- А1 — первый игрок может гарантировать исходы (1, 1) или (0, 0);
- А2 — второй игрок может гарантировать исходы (1, 1) или (0, 0).

Таким образом, проведенный анализ показывает, что все игры качества с антагонистическим поведением разбиваются на шесть типов, в каждом из которых тот или иной игрок может гарантировать получение некоторого наилучшего для себя результата, причем отклонение от такого поведения приводит к ухудшению результата в смысле его критерия оптимальности. Из табл. 1, 2 следует, что классификация по типам игр однозначно определяется набором величин  $a_{12}$ ,  $b_{21}$ ,  $a_{21}$ ,  $b_{12}$ , т. е. функциями выигрыша соответствующих антагонистических игр.

## 2.2. Дифференциальные неантагонистические игры качества

Рассматривается управляемая система, состояние которой описывается вектором  $x = \{x^1, \dots, x^n\}$ , изменяющимся во времени  $t$  в соответствии с уравнением движения

$$\dot{x} = f(t, x, u_1, u_2). \quad (2.1)$$

Правая часть этого уравнения удовлетворяет требованиям, изложенным в [46], и, в частности, непрерывна по всем аргументам. Позиционные управления  $u_i$  ( $i \in \{1, 2\}$ ) противоборствующих игроков являются произвольными функциями, заданными на пространстве  $Z = R^1(t)R^n(x^1, \dots, x^n) = \{t, x\}$ , и стеснены лишь условиями

$$u_i(t, x) \in P_i, \quad (2.2)$$

где  $P_i$  — замкнутые ограниченные множества в пространстве переменных  $u_i$ .

В пространстве  $Z$  выделяются два терминальных множества  $M_1$  и  $M_2$ , являющихся целевыми множествами противоборствующих игроков. Эти множества имеют следующий содержательный смысл: в процессе противоборства каждый из игроков пытается вывести движение системы на собственное целевое множество, избежав при этом попадания на целевое множество противника; иначе говоря, жизненным пространством первого игрока является множество  $N_1 = Z \setminus M_2$ , а второго — множество  $N_2 = Z \setminus M_1$ . В результате такой постановки задачи возникает ситуация, аналогичная для неантагонистических конфликтов с антагонистическим поведением игроков, рассмотренных в предыдущем параграфе. Но поскольку речь идет о позиционных дифференциальных играх, то следует иметь в виду определенную трудность, связанную с неединственностью движений, порожденных стратегиями, удовлетворяющими лишь ограничениям (2.2). Рассмотрим способ преодоления этой трудности [5].

Пусть заданы:  $\{t_0, x_0\}$  — начальная позиция,  $\vartheta \geq t_0$  — конечное число и  $x[t]$  — одно из движений, порожденных парой стратегий  $\{u_1, u_2\}$ . Если точка  $x[t]$  попадает к моменту  $\vartheta$  на целевое множество  $M$ , то припишем этому движению значение 1. Если же точка  $x[t]$  уклоняется от  $M$  вплоть до момента  $\vartheta$ , то рассматриваемому движению приписывается значение 0. Эта процедура каждому движению ставит в соответствие значение некоторого функционала, который можно считать характеристическим. Трудность, о которой говорилось выше, заключается в том, что одна и та же пара позиционных управлений порождает движения, выходящие из начальной точки  $\{t_0, x_0\}$ , которым сопоставляются как нулевые, так и единичные значения введенных функционалов. Это означает, что нельзя перенести естественным образом значение функционалов со множества движений на множество порождающих эти движения позиционных управлений. Однако такой перенос осуществим, если объект «распадается» на два подобъекта, каждый из которых самостоятельно управляется одним из игроков, т. е. если объект можно представить в виде

$$\dot{x}_1 = f_1(t, x_1, u_1); \quad \dot{x}_2 = f_2(t, x_2, u_2). \quad (2.3)$$

Покажем, что для объектов вида (2.3) можно ограничиться множеством стратегий, порождающих единственные движения.

Пусть задана система

$$\dot{x} = f(t, x, u) \quad (2.4)$$

с одним позиционным управлением  $u(t, x) \in P$ , где  $f(t, x, u)$  и  $P$  удовлетворяют стандартным условиям, принятым в позиционных дифференциальных играх. Будем полагать, что  $x[t]$  — произвольное движение, проходящее через точку  $\{t_0, x_0\}$  и порожденное некоторым позиционным управлением. Тогда для

любого  $\vartheta \geq t_0$  существует позиционное управление  $u^*(t, x)$ , порождающее единственное движение, которое совпадает на отрезке  $[t_0, \vartheta]$  с движением  $x[t]$ .

Для доказательства этого положения рассмотрим игру сближения — уклонения системы (2.4) с жизненным пространством первого игрока

$$N = \{ (t, x) \mid t = \tau, x = x[\tau], \tau \in [t_0, \vartheta] \}$$

и его целовым множеством  $M\{\vartheta, x[\vartheta]\}$ . С помощью позиционного управления  $u(t, x)$  первый игрок стремится вывести систему (2.4) на множество  $M$  к моменту  $\vartheta$ . От второго игрока движение системы не зависит. Очевидно, что множество  $M$  замкнуто; также замкнуто и множество  $N$ , поскольку является графиком абсолютно непрерывной функции  $x[t]$ , заданной на отрезке  $[t_0, \vartheta]$ . Кроме того, выполнено условие седловой точки маленькой игры [46], поскольку  $f(t, x, u)$  непрерывна по  $u$  на компакте  $P$ . Все это означает, что выполнены все условия теоремы об альтернативе [46], согласно которой все полупространство  $t \leq \vartheta$  разбивается на две части: одна из них образована всеми позициями, из которых выигрывает первый игрок (разрешима задача сближения с  $M$  к моменту  $\vartheta$ ), а вторая образована позициями, из которых выигрывает второй игрок (разрешима задача об уклонении от множества  $M$  вплоть до момента  $\vartheta$ ). Поскольку  $x[t]$  — одно из движений, проходящее через точку  $\{t_0, x_0\}$ , которое, не выходя из множества  $N$ , попадает на множество  $M$  в момент  $\vartheta$  при любой стратегии второго игрока, то по теореме об альтернативе существует управление  $u^*(t, x)$ , решающее задачу сближения с  $M$  к моменту  $\vartheta$  внутри множества  $N$  сразу для всех порождаемых им движений. Но принадлежность этих движений множеству  $N$  и означает их единственность.

Отсюда следует, что для объекта вида (2.3) либо найдется стратегия  $u_1^*(t, x)$ , обеспечивающая встречу с  $M$  к моменту  $\vartheta$  и порождающая единственное движение объекта  $\dot{x}_1 = f_1(t, x_1, u_1)$ , либо найдется стратегия  $u_2^*(t, x)$ , обеспечивающая уклонение от  $M$  вплоть до момента  $\vartheta$  и порождающая единственное движение объекта  $\dot{x}_2 = f_2(t, x_2, u_2)$ . Это следствие означает, что для объектов вида (2.3) множество стратегий игроков может быть ограничено такими позиционными управлениями, которые порождают единственное движение системы. На основании сказанного можно ввести нормальную форму дифференциальной игры.

Обозначим через  $U_i$  множества таких позиционных стратегий, которые порождают единственные движения подобъектов (2.3). На множестве  $U_1 U_2$  зададим функционал  $F$ , максимизируемый первым и минимизируемый вторым игроками. Поскольку пара стратегий  $\{u_1, u_2\} \in U_1 U_2$  порождает единственное движение, проходящее через точку  $\{t_0, x_0\}$ , то можно задать функционал следующим образом:

$$F(u_1, u_2) = \begin{cases} 1 & \text{— при выходе движения на } M; \\ 0 & \text{— в противном случае.} \end{cases}$$

Теперь в каждой точке  $\{t_0, x_0\}$  для любого конечного момента  $v \geq t_0$  и множеств  $M$  и  $N$  можно рассматривать антагонистическую игру сближения—уклонения в нормальной форме в виде четверки  $\langle U_1, U_2, F, -F \rangle$ . Согласно сказанному выше, любая такая игра для объектов видов (2.3) и замкнутых множеств  $M$  и  $N$  имеет седловую точку в чистых стратегиях.

Приведем нормальную форму дифференциальной игры с двумя целевыми множествами. Здесь, как и для антагонистического случая, рассматривается объект вида (2.3), состоящий из двух подобъектов, и  $U_i$  — множество стратегий  $i$ -го игрока, порождающее единственные движения подобъектов и, как следствие, единственное движение всего объекта. Наряду с жизненными пространствами противоборствующих игроков  $N_1$  и  $N_2$  введем два множества вида  $N'_i = N_i \cup M_i$ , причем целевой функционал  $i$ -го игрока зададим в виде

$$F_i(u_1, u_2) = \begin{cases} 1 & \text{— при выходе движения на } M_i \text{ к моменту } v \\ & \text{внутри множества } N_i; \\ 0 & \text{— в противном случае.} \end{cases}$$

В этом случае игра  $\langle U_1, U_2, F_1, F_2 \rangle$  может рассматриваться как неантагонистическая игра качества с антагонистическим поведением. Для решения этой игры, как показано в предыдущем параграфе, следует рассмотреть вспомогательные антагонистические игры  $\langle U_1, U_2, F_1, -F_1 \rangle$  и  $\langle U_1, U_2, -F_2, F_2 \rangle$ . Первая игра представляет собой обычную игру сближения—уклонения [46] с терминальным множеством  $M_1$ , жизненным пространством  $N'_1 = N_1 \cup M_1 = Z \setminus (M_2 \setminus M_1)$  и моментом окончания игры  $v$ . Вторая игра интерпретируется аналогично. Обозначим множества равновесных стратегий в этих играх через  $(U_1^*, U_{2*})$  и  $(U_{1*}, U_2^*)$  соответственно (звездочка вверх соответствует максимизации своего выигрыша, а вниз — минимизации выигрыша противника). Как и в предыдущем параграфе, на этих множествах формируются две антагонистические игры  $\langle U_1^*, U_{2*}, -F_2, F_2 \rangle$  и  $\langle U_{1*}, U_2^*, F_1, -F_1 \rangle$ . Первая из этих игр соответствует стремлению второго игрока вывести движение системы на терминальное множество  $M_2$  к моменту  $v$ , не попав при этом (используются стратегии из множества  $U_{2*} \subset U_2$ ) на множество  $M_1$ , т. е. оставаясь на множестве  $N_2 = Z \setminus M_1 \subset N'_1$ . Первый игрок в этой игре преследует противоположную цель (решает задачу уклонения от  $M_2$  вплоть до момента  $v$ ), используя при этом стратегии из множества  $U_1^* \subset U_1$ , которые выводят движение системы на множество  $M_1$ . Интерпретация второй игры аналогична.

Таким образом, четыре вспомогательные игры качества из предыдущего параграфа в терминологии дифференциальных игр имеют следующий смысл [5]:

$\langle U_1, U_2, F_1, -F_1 \rangle$  — игра сближения—уклонения с целевым множеством первого игрока  $M_1$  и его жизненным пространством  $N'_1 = Z \setminus (M_2 \setminus M_1) = N_1 \cup M_1$ ;  $\langle U_1, U_2, -F_2, F_2 \rangle$  — игра сближения—уклонения с целевым множеством второго игрока  $M_2$

и его жизненным пространством  $N'_2 = Z \setminus (M_1 \setminus M_2) = N_2 \cup M_2$ ;

$\langle U_{1*}, U_1^*, F_1, -F_1 \rangle$  — игра сближения—уклонения с целевым множеством первого игрока  $M_1$  и его жизненным пространством  $N_1 = Z \setminus M_2$ ;  $\langle U_1^*, U_{2*}, -F_2, F_2 \rangle$  — игра сближения—уклонения с целевым множеством второго игрока и его жизненным пространством  $N_2 = Z \setminus M_1$ .

Если во всех перечисленных играх существуют ситуации равновесия в чистых стратегиях, то, как следует из предыдущего параграфа, все полупространство начальных позиций разбивается на шесть частей, для каждой из которых верно одно и только одно из утверждений:

первый игрок имеет стратегию, выводющую все движения на множество  $M_1$  к моменту  $\theta$  так, что ни одно движение не попадает на множество  $M_2$  при любых стратегиях второго игрока;

второй игрок имеет стратегию, выводющую все движения на множество  $M_2$  к моменту  $\theta$  так, что ни одно движение не попадает на множество  $M_1$  при любых стратегиях первого игрока;

любой игрок имеет стратегию, уклоняющую все движения от целевого множества противника вплоть до момента  $\theta$  (улучшить этот результат не может ни один игрок);

любой игрок имеет стратегию, выводющую все движения на свое целевое множество к моменту  $\theta$  (улучшить этот результат не может ни один игрок);

у первого игрока есть стратегии, выводящие все движения на целевое множество  $M_1 \cap M_2$  к моменту  $\theta$  внутри жизненного пространства  $Z \setminus (M_1 \Delta M_2)$ , и есть стратегии, уклоняющие все движения от множества  $M_1 \cup M_2$  вплоть до момента  $\theta$  (улучшить этот результат не может ни один игрок);

у второго игрока есть стратегии, выводящие все движения на целевое множество  $M_1 \cap M_2$  к моменту  $\theta$  внутри жизненного пространства  $Z \setminus (M_1 \Delta M_2)$ , и есть стратегии, уклоняющие все движения от множества  $M_1 \cup M_2$  вплоть до момента  $\theta$  (улучшить этот результат не может ни один игрок).

Итак, из сказанного следует, что решение неантагонистической игры качества для объекта вида (2.3) сводится к решению соответствующих дифференциальных игр сближения—уклонения.

### 2.3. Групповой подход

#### к анализу управляемых динамических систем

На пути к широкому применению теории неантагонистических дифференциальных игр возникает ряд существенных препятствий (о чем говорилось во введении), главным из которых является высокий порядок дифференциальных уравнений, описывающих реальную динамическую систему. Одним из общих подходов, позволяющих уменьшить порядок дифференциальных уравнений, является групповой анализ дифференциальных уравнений [71], выделяющий подсистемы меньшего порядка, анализ которых необходим и достаточен для решения задачи управления или диф-

ференциальной игры. Идея использования методов группового анализа дифференциальных уравнений для предварительного исследования задач управления нашла свое отражение в работах [28, 33, 72, 100]. В данном параграфе методы группового анализа дифференциальных уравнений использованы для предварительного упрощения управляемых систем и построения редуцированного пространства в дифференциальных играх [5, 7].

Для решения поставленных задач введем несколько определений [71].

**О п р е д е л е н и е 1.** Локальной однопараметрической группой Ли называется семейство преобразований вида  $f : V \times \Delta \rightarrow X$ , где  $X$  банахово пространство,  $V \subset X$ ,  $V$  — открыто,  $\Delta$  — симметричный относительно нуля интервал вещественной оси  $R$ . Эта группа в дальнейшем именуется группой  $G^1$ .

**О п р е д е л е н и е 2.** Касательным векторным полем группы  $G^1$  называется векторное поле  $\xi : V \rightarrow X$ , по которому однозначно восстанавливается однопараметрическая группа. Группа, порожденная полем, обозначается  $G^1(\xi)$ .

**О п р е д е л е н и е 3.** Пусть  $f : V\Delta \rightarrow X$  порождает группу  $G^1(\xi)$ ,  $Y$  — банахово пространство,  $F : X \rightarrow Y$  — дифференцируемое отображение. Тогда линейный дифференциальный оператор  $\xi\partial$ , действующий на отображение  $F : X \rightarrow Y$  по формуле  $(\xi\partial) F(x) = \partial F(x) \langle \xi(x) \rangle$ , называется инфинитезимальным оператором группы  $G^1(\xi)$ .

В конечномерном случае имеют место следующие обозначения:

$$X = R^n(x^1, \dots, x^n), \quad \xi = (\xi^1, \dots, \xi^n), \quad \partial = (\partial_1, \dots, \partial_n),$$

где

$$\partial_i = \partial/\partial x^i, \quad (\xi\partial) = \xi^i \partial_i = \xi^i \frac{\partial}{\partial x^i};$$

$$(\xi\partial) F = \xi^i \partial_i F = \xi^i \frac{\partial F}{\partial x^i}.$$

**О п р е д е л е н и е 4.** Отображение  $F : X \rightarrow Y$ , где  $Y$  — банахово пространство, называется инвариантом группы  $G^1$ , порожденной отображением  $f : XR \rightarrow X$ , если для любых  $(x, a) \in X \times R$  выполнено равенство  $F[f(x, a)] = F(x)$ . Отображение  $F : X \rightarrow Y$  является инвариантом группы, если для  $\forall x \in X$   $(\xi\partial) F(x) = 0$ .

**О п р е д е л е н и е 5.** Инвариант  $J : X \rightarrow Y$  группы  $G^1$  называется универсальным инвариантом, если для любого банахова пространства  $Z$  и любого инварианта  $F : X \rightarrow Z$  найдется такое отображение  $\Phi : Y \rightarrow Z$ , что  $F = \Phi \circ J$  (знак  $\circ$  означает суперпозицию отображений). Из этого определения следует, что через универсальные инварианты выражаются все возможные инварианты группы  $G^1$ .

**О п р е д е л е н и е 6.** Набор функционально независимых инвариантов группы  $G^1$ , через которые выражается любой ее инвариант, называется функциональным базисом инвариантов



группы  $G^1$ . Из определения 4 следует, что отыскание скалярных инвариантов группы  $G^1(\xi)$  в конечномерном случае ( $X = R^k$ ) сводится к решению линейного однородного дифференциального уравнения в частных производных 1-го порядка  $\xi^i \partial_i F = 0$ .

**О п р е д е л е н и е 7.** Пространство  $L(X, Y)$  линейных (непрерывных в нуле и аддитивных) отображений  $L: X \rightarrow Y$  называется первым продолжением пространства  $Y$  с помощью пространства  $X$ . При этом используются следующие обозначения:

$$Y_1 = L(X, Y) = \{y\}, \text{ где } y: X \rightarrow Y \text{ линейное отображение,} \\ Z = XY, Z_1 = XY_1 = \{x, y, y\} = \{z\}.$$

**О п р е д е л е н и е 8.** Пусть  $F: Z \rightarrow p$  — дифференцируемо. Введем операторы  $d$  и  $D$ , действующие по формулам

$$dF = (d_x, d_y) F = (d_x F, d_y F),$$

$$DF = d_x F.$$

Тогда операторы  $d = (d_x, d_y, d_y)$  и  $D = d_x = y d_y$  называются первыми продолжениями операторов  $d$  и  $D$ .

Воспользовавшись введенными определениями, исследуем управляемый объект, заданный системой обыкновенных дифференциальных уравнений с произвольным элементом.

Пусть  $X = R(x)$ ,  $Y = R^m(y)$ ,  $Z = XY = R^{m+1}(z)$ , где  $z = (x, y)$ ,  $f: ZR^s \rightarrow Y$ ,  $f \in C_\infty(ZR^s)$ . Для произвольного отображения  $\Theta: X \rightarrow R^s$  зададим дифференциальное уравнение

$$\dot{y} = f(x, y, \Theta), \quad (2.5)$$

где

$$\dot{y} = d\dot{y}/dx \in R^m(\dot{y}^1, \dots, \dot{y}^m),$$

или в координатной форме

$$\dot{y}^k = f^k[x, y^1, \dots, y^m, \Theta^1(x), \dots, \Theta^s(x)]. \quad (2.6)$$

Задача ставится следующим образом: необходимо отыскать группы преобразований пространства  $Z$ , относительно которых уравнение (2.6) инвариантно при любом отображении  $\Theta: X \rightarrow R^s$ .

Решение этой задачи может быть найдено с помощью следующей процедуры.

**Шаг 1.** Задается общее выражение инфинитезимального оператора в виде

$$\xi d = \xi d_x + \eta^j d_{y_j}, \quad j = 1, m,$$

где  $(\xi, \eta): Z \rightarrow Z$ ,  $\xi: Z \rightarrow X$ ,  $\eta: Z \rightarrow Y$ .

**Шаг 2.** Строится продолженный оператор

$$\xi d = \xi \cdot d + \bar{\eta}^j d_{y_j},$$

где  $\bar{\eta}^j = D\eta^j - \dot{y}^j D\xi$ ,  $D = \partial_x + \dot{y}^i \partial_{y_i}$ ,  $i = 1, m$ .

**Шаг 3.** Действуя оператором  $\xi$  на уравнение (2.6), получим

$$\bar{\eta}^k = \xi \partial_x f^k + \xi \partial_{y^l} f^k \partial_x \theta^l + \eta^i \partial_{y^l} f^k, \quad l=1, s; \quad j, k=1, m. \quad (2.7)$$

Поскольку  $(\xi, \eta) : Z \rightarrow Z$  не зависят от  $\Theta$  и  $\Theta_x^l = \partial_x \Theta^l$ , то в силу произвольности  $\Theta_x^l$ , обозначив  $\partial_{y^l} f^k = f_{li}^k$ , получим

$$\xi f_{li}^k \Theta_x^l = 0 \forall \Theta_x^l.$$

Отсюда следует  $\xi = 0$  или  $f_{li}^k \Theta_x^l = 0$ .

Второе условие означает, что правые части (2.6) не зависят от  $\Theta$  и этот случай из рассмотрения исключаем [71]. Для первого условия уравнение (2.7) имеет вид

$$\partial_x \eta^k + y^j \partial_{y^j} \eta^k = \eta^i \partial_{y^j} f_{li}^k, \quad j, k=1, m. \quad (2.8)$$

Учитывая (2.6), из (2.8) получаем

$$\partial_x \eta^k + f^j \partial_{y^j} \eta^k = \eta^i \partial_{y^j} f_{li}^k, \quad j, k=1, m. \quad (2.9)$$

На множестве  $Z = XY$  введем векторные поля

$$\varphi = (1, f) = (1, f^1, f^2, \dots, f^m), \quad \beta = (0, \eta) = (0, \eta^1, \eta^2, \dots, \eta^m).$$

Тогда уравнение (2.9) можно привести к виду

$$[\varphi, \beta] = \varphi^j \partial_{y^j} \beta^k - \beta^j \partial_{y^j} \varphi^k = 0, \quad y^0 = x; \quad j, k=0, m. \quad (2.10)$$

Уравнение (2.10) представляет собой систему уравнений в частных производных первого порядка относительно неизвестных функций  $\beta^k = \beta^k(x, y^1, \dots, y^m)$ , решение которой обладает рядом свойств [5]:

- 1) множество решений образует линейное пространство;
- 2) множество решений образует алгебру Ли.

Доказательство следует из линейности и однородности системы (2.10). Замкнутость относительно коммутатора следует из тождества Якоби.

Рассмотрим вспомогательную систему дифференциальных уравнений вида

$$\Phi^i \partial_{y^j} \beta = 0, \quad \text{где } \Phi = (1, \beta), \quad \beta = \beta(y^0, y^1, \dots, y^m). \quad (2.11)$$

Эта бесконечная система эквивалентна некоторой конечной системе дифференциальных уравнений, которая строится процессом пополнения [100]. Если эта конечная система состоит из  $l$  уравнений, то система (2.11) имеет  $m + 1 - l$  функционально независимых решений. Если  $l = m + 1$ , то система (2.11) имеет единственное тривиальное решение  $\beta = \text{const}$ . Как показано в [100], это является необходимым условием управляемости системы (2.6).

Из сказанного следует свойство 3: если система (2.11) имеет лишь тривиальное решение, то алгебра Ли — решения уравнения (2.10) конечномерна и ее размерность не превышает  $m + 1$  [5].

В заключение покажем вычисление допускаемых алгебр Ли для конкретных объектов.

**Пример 1.** Объект описывается следующей системой уравнений (простое движение при единичной скорости):

$$\dot{x} = \cos \alpha, \quad \dot{y} = \sin \alpha.$$

Введем обозначения:

$$x = R^1(t), \quad Y = R^2(x, y), \quad \alpha : X \rightarrow R^1,$$

$$Z = XY = R^3(t, x, y), \quad f^1 = \cos \alpha, \quad f^2 = \sin \alpha.$$

С учетом обозначений уравнения (2.9) принимают вид

$$\partial_t \eta^1 + \cos \alpha \partial_x \eta^1 + \sin \alpha \partial_y \eta^1 = 0,$$

$$\partial_t \eta^2 + \cos \alpha \partial_x \eta^2 + \sin \alpha \partial_y \eta^2 = 0.$$

Из-за произвольности  $\alpha$  получим  $\eta^1 = \text{const}$ ,  $\eta^2 = \text{const}$ . Таким образом, приведенные выше уравнения допускают алгебру Ли, образованную векторами  $\xi = (0, \eta^1, \eta^2)$ .

**Пример 2.** Объект описывается следующей системой уравнений:

$$\dot{x} = \cos \alpha, \quad \dot{y} = \sin \alpha, \quad \dot{\alpha} = \Theta.$$

$$\text{Введем обозначения: } X = R^1(t), \quad Y = R^3(x, y, \alpha),$$

$$Z = XY, \quad \Theta : X \rightarrow R^1, \quad f^1 = \cos \alpha, \quad f^2 = \sin \alpha, \quad f^3 = \Theta.$$

С учетом этих обозначений уравнения (2.9) принимают вид

$$\partial_t \eta^1 + \cos \alpha \partial_x \eta^1 + \sin \alpha \partial_y \eta^1 + \Theta \partial_\alpha \eta^1 = -\eta^3 \sin \alpha,$$

$$\partial_t \eta^2 + \cos \alpha \partial_x \eta^2 + \sin \alpha \partial_y \eta^2 + \Theta \partial_\alpha \eta^2 = \eta^3 \cos \alpha,$$

$$\partial_t \eta^3 + \cos \alpha \partial_x \eta^3 + \sin \alpha \partial_y \eta^3 + \Theta \partial_\alpha \eta^3 = 0.$$

Из-за произвольности  $\Theta : X \rightarrow R^1$  и независимости  $\eta$  от  $\Theta$  получаем

$$\partial_\alpha \eta^j = 0, \quad j = 1, 3.$$

Интегрируя оставшиеся уравнения, начиная с последнего, получаем

$$\eta^1 = -C_3 y + C_1, \quad \eta^2 = C_3 x + C_2, \quad \eta^3 = C_3.$$

Таким образом, объект допускает алгебру Ли, образованную векторами  $\xi = (0, \eta^1, \eta^2, \eta^3)$ . В этом семействе векторов можно выбрать базис в виде

$$\xi_1 = (0, 1, 0, 0), \quad \xi_2 = (0, 0, 1, 0), \quad \xi_3 = (0, -y, x, 1).$$

Группа, соответствующая этой алгебре, состоит из вращения в плоскости  $(x, y)$  на угол  $\alpha$  вокруг произвольной точки и сдвига на этот угол вдоль оси  $\alpha$ .

**Пример 3.** Объект описывается следующей системой уравнений («изотропные ракеты» [8]):

$$\dot{x}^1 = x^3, \quad \dot{x}^2 = x^4,$$

$$\dot{x}^3 = F \sin \Theta - k x^3, \quad \dot{x}^4 = F \cos \Theta - k x^4.$$

$$\text{Введем обозначения: } X = R^1(t), \quad Y = R^4(x^1, x^2, x^3, x^4),$$

$$Z = XY, \quad \Theta : X \rightarrow R^1, \quad f^1 = x^3, \quad f^2 = x^4,$$

$$f^3 = F \sin \Theta - kx^3, f^4 = F \cos \Theta - kx^4, \partial_i = \partial_{x^i}, i = 1, 4.$$

Уравнения (2.9) принимают вид

$$\partial_i \eta^1 + x^3 \partial_1 \eta^1 + x^4 \partial_2 \eta^1 + f^3 \partial_3 \eta^1 + f^4 \partial_4 \eta^1 = \eta^3, \quad (1)$$

$$\partial_i \eta^2 + x^3 \partial_1 \eta^2 + x^4 \partial_2 \eta^2 + f^3 \partial_3 \eta^2 + f^4 \partial_4 \eta^2 = \eta^4, \quad (2)$$

$$\partial_i \eta^3 + x^3 \partial_1 \eta^3 + x^4 \partial_2 \eta^3 + f^3 \partial_3 \eta^3 + f^4 \partial_4 \eta^3 = -k \eta^3, \quad (3)$$

$$\partial_i \eta^4 + x^3 \partial_1 \eta^4 + x^4 \partial_2 \eta^4 + f^3 \partial_3 \eta^4 + f^4 \partial_4 \eta^4 = -k \eta^4. \quad (4)$$

Система распадается на две независимые подсистемы, состоящие из уравнений 1,3 и 2,4. Из-за произвольности отображения  $\Theta: X \rightarrow R^1$  получаем  $\partial_3 \eta^k = \partial_4 \eta^k = 0, k = 1, 4$ . Система уравнений 1,3 переписывается в виде

$$\partial_i \eta^1 + x^3 \partial_1 \eta^1 + x^4 \partial_2 \eta^1 = \eta^3,$$

$$\partial_i \eta^3 + x^3 \partial_1 \eta^3 + x^4 \partial_2 \eta^3 = -k \eta^3.$$

Условия совместимости приводят к равенствам

$$\partial_1 \eta^1 = \partial_2 \eta^1 = \partial_1 \eta^3 = \partial_2 \eta^3 = 0.$$

Из оставшихся уравнений получаем

$$\partial_i \eta^1 = \eta^3, \quad \partial_i \eta^3 = -k \eta^3.$$

Решения этих уравнений имеют вид

$$\eta^3 = C_3 e^{-kt}, \quad \eta^1 = -C_3 / k e^{-kt} + C_1.$$

Аналогично из уравнений 2,4 получаем

$$\eta^4 = C_4 e^{-kt}, \quad \eta^2 = -C_4 / k e^{-kt} + C_2.$$

Таким образом, уравнения движения «изотропной ракеты» инвариантны относительно преобразований с касательным полем  $\zeta = (0, \eta^1, \eta^2, \eta^3, \eta^4)$ . Базисный набор векторов имеет вид

$$\zeta_1 = (0, 1, 0, 0, 0); \quad \zeta_2 = (0, 0, 1, 0, 0);$$

$$\zeta_3 = (0, e^{-kt} / -k, 0, e^{-kt}, 0); \quad \zeta_4 = (0, 0, e^{-kt} / -k, 0, e^{-kt}).$$

**Пример 4.** Объект представляет собой линейную управляемую систему

$$\dot{x}^k = a_j^k x^j + b_i^k u^i, \quad k, j = 1, n, i = 1, s.$$

$$\text{Введем обозначения: } X = R^1(t), Y = R^n(x^1, \dots, x^n),$$

$$u: X \rightarrow R^s, \quad f^k = a_j^k x^j + b_i^k u^i.$$

Уравнения (2.9) принимают вид

$$\partial_i \eta^k + (a_j^k x^j + b_i^k u) \partial_{x^j} \eta^k = \eta^i a_j^k, \quad l = 1, n.$$

Здесь  $\eta^k = \eta^k(t, x)$ . Из-за произвольности  $u: X \rightarrow R^s$  эти уравнения расщепляются на две системы

$$\partial_i \eta^k + a_j^k x^j \partial_{x^j} \eta^k = \eta^i a_j^k, \quad b_i^k u^i \partial_{x^j} \eta^k = 0.$$

Часть решений получается при выполнении требования  $\partial_{x_i} \eta^k = 0$ . В этом случае остается система линейных обыкновенных дифференциальных уравнений, общее решение которой может быть записано в виде  $\eta = \exp(At) \eta^0$ , где  $A = (a_{ij}^k)$ . Отсюда получается  $n$  базисных векторов допускаемой алгебры Ли

$$\zeta_i = (0, \eta_{i1}, \dots, \eta_{in}),$$

где  $\eta_i = \exp(At) \eta_i^0$ , а  $\eta_i^0$  — вектор с единичной  $i$ -й и равными нулю остальными компонентами.

Если объект управляем [39], т. е. выполнено условие rank  $[B, AB, \dots, A^{n-1}B] = n$ , то согласно свойству 3 решения системы (2.10) указанной  $n$ -мерной алгеброй исчерпывается допускаемая алгебра объекта. В противном случае, возможно, что векторы  $\zeta_i$  образуют конечномерную подалгебру в бесконечномерной допускаемой алгебре Ли.

## 2.4. Уменьшение размерности пространства

### в задачах управления и дифференциальных играх

Рассмотрим задачу выхода управляемого объекта (2.5) на заданное терминальное множество и ее редуцирование. Известно, что в случае конечномерной допускаемой алгебры Ли  $L'$  система (2.6) допускает соответствующую этой алгебре группу  $G'$  преобразований пространства  $Z = XY$  [71].

Пусть в пространстве  $Z$  выделено многообразие  $M \subset Z$ , задаваемое неявно системой уравнений

$$\Psi(z) = 0, \quad (2.12)$$

где  $\Psi: Z \rightarrow R^q$  ( $0 < q < \dim Z = m + 1$ ).

Критерий инвариантности регулярно заданного уравнением (2.12) многообразия состоит в выполнении условия

$$\partial \Psi(z) \xi(z)|_M = 0, \text{ где } \xi(z) \in L'.$$

Рассмотрим ситуацию: в момент  $x_0$  система (2.6) находится в состоянии  $y_0$  и под воздействием управления  $\Theta(x)$  переходит в состояние  $(x, y)$ , лежащее на терминальном многообразии  $M$ . Пусть  $g: Z \rightarrow Z$  — гладкое преобразование пространства  $Z$  из группы  $G'$ , допускаемой уравнением

$$\dot{y} = f(x, y, \Theta(x)), \quad (2.13)$$

действует по формулам  $x^1 = x$ ,  $y^1 = h(x, y)$ , т. е.  $g = (e, h)$ , где  $e: X \rightarrow X$ ,  $h: XY \rightarrow Y$ . Это означает, что, сделав в уравнении (2.13) замену переменных по формулам  $x^1 = x$ ,  $y^1 = h(x, y)$ , получим то же самое уравнение. Если при этом многообразии  $M$  инвариантно относительно этого же преобразования, то под действием управления  $\Theta(x)$  точка  $(x_0^1, y_0^1) = (x_0, h(x_0, y_0))$  перейдет в точку этого же многообразия.

Таким образом, управления  $\Theta(x)$ , выводящие начальную точку на терминальное многообразие, могут выбираться среди инвариантов группы и могут быть выражены через универсальный инва-

риант группы преобразований, допускаемой уравнением объекта и многообразия. Если допускаемые преобразования образуют группу  $G'$ , то универсальные инварианты этой группы являются решениями дифференциального уравнения

$$(\zeta \partial) J = 0, \text{ где } \zeta \in L'. \quad (2.14)$$

Покажем применение предложенного подхода для редуцирования задачи вывода линейного объекта на линейное терминальное многообразие [7].

Все рассуждения будут вестись в пространствах  $X = R^1(t)$ ,  $Y = R^n(x^1, \dots, x^n)$ ,  $Z = XY$ .

Рассматривается задача для линейного объекта

$$\dot{x}^k = a_j^k x^j + b_i^k \Theta^i, \quad k, j = 1, n; i = 1, s \quad (2.15)$$

и терминального многообразия, задаваемого уравнениями:

$$c_k^p x^k = 0, \quad p = 1, l; 1 \leq l \leq n. \quad (2.16)$$

В матричных обозначениях  $A = (a_j^k)$ ,  $B = (b_i^k)$ ,  $C = (c_k^p)$  объект (2.15) и многообразие (2.16) записываются в виде

$$\dot{x} = Ax + B\Theta, \quad (2.15')$$

$$Cx = 0. \quad (2.16')$$

Далее полагаем, что терминальное многообразие задается регулярно, т. е.  $\text{rang } C = l$ ; в противном случае из системы (2.16) удаляются линейно зависимые уравнения.

Покажем, что если терминальное пространство  $M$  инвариантно относительно преобразования  $A : R^n \rightarrow R^n$ , т. е.  $AM \subset M$ , то можно уменьшить размерность системы (2.15), а терминальное множество заменить при этом тривиальным (нулевым) пространством. Приведем критерии инвариантности многообразия  $M$  относительно преобразования  $A : R^n \rightarrow R^n$ .

**К р и т е р и й 1.** Пусть  $A : R^n \rightarrow R^n$ ,  $C : R^n \rightarrow R^l$  — линейные преобразования. Тогда пространство  $\ker C = M$  инвариантно относительно преобразования  $A : R^n \rightarrow R^n$  тогда и только тогда, когда существует линейное преобразование, при котором  $CA = DC$ .

**Д о к а з а т е л ь с т в о.** Инвариантность  $M$  означает, что  $AM \subset M$ , т. е. из условия  $Cx = 0$  следует  $CAx = 0$ , что эквивалентно включению  $\ker C \subset \ker CA$ . Последнее условие необходимо и достаточно для существования отображения  $D : R^l \rightarrow R^l$ , замыкающего диаграмму

$$\begin{array}{ccc} R^n & \xrightarrow{C} & R^l \\ A \downarrow & & \downarrow D \\ R^n & \xrightarrow{C} & R^l \end{array}$$

что, в свою очередь, эквивалентно существованию отображения  $D$ , которое удовлетворяет уравнению  $CA = DC$ . Линейность  $D$  следует из линейности отображений  $A$  и  $C$ .

Уравнение  $CA = DC$  есть система линейных уравнений, имеющая решение тогда и только тогда, когда  $\text{rang } C = \text{rang } [C, CA]$ , где  $[C, CA]$  — расширенная матрица, образованная приписыванием строк матрицы  $CA$  к матрице  $C$ .

Запишем систему уравнений (2.9) для объекта (2.15)

$$\partial_i \eta^k + (a_i^j x^j + b_i^j \Theta^j) \partial_x \eta^k = \eta^j a_j^k, \quad l = 1, n, \quad (2.17)$$

где  $\eta^k = \eta^k(t, x)$ ,  $\Theta^i = \Theta^i(t)$  произвольны.

Поскольку  $\eta^k$  не зависит от функций  $\Theta^i = \Theta^i(t)$ , то система (2.17) расщепляется на две системы:

$$\partial_i \eta^k = a_i^j x^j \partial_x \eta^k = \eta^j a_j^k, \quad b_i^j \Theta^j \partial_x \eta^k = 0.$$

Часть решений системы может быть получена при выполнении требования  $\partial_x \eta^k = 0$ . В этом случае система (2.17) сводится к системе линейных обыкновенных дифференциальных уравнений

$$\partial_t \eta^k = a^k_j \eta^j,$$

общее решение которой может быть записано в виде

$$\eta = \exp(At) \eta^0, \quad \eta^0 \in R^n. \quad (2.18)$$

Множество векторов  $\zeta = (0, \eta)$ , где  $\eta$  задается соотношением (2.18), образует подалгебру  $L^n$  (абелеву) в алгебре Ли всех решений системы (2.10) и допускается уравнением (2.15) при всех  $\Theta = \Theta(t)$ . Определим, при каких  $\eta^0 \in R^n$  многообразие, задаваемое уравнением (2.16), инвариантно относительно группы преобразований, соответствующих подалгебре  $L^n$ . Действуя оператором  $(\zeta \partial)$  на уравнение (2.16), получим условие инвариантности многообразия в виде

$$C \exp(At) \eta^0 = 0. \quad (2.19)$$

**К р и т е р и й 2.** Необходимое и достаточное условие справедливости соотношения (2.19) заключается в том, чтобы  $\eta^0$  лежало в максимальном по включению, инвариантном относительно преобразования  $A : R^n \rightarrow R^n$  пространстве  $M^0 \subset \ker C$ .

**Н е о б х о д и м о с т ь.** Дифференцируя (2.19) по  $t(n-1)$  раз, при  $t=0$  получим  $C \eta^0 = 0$ ,  $CA \eta^0 = 0$ , ...,  $CA^{n-1} \eta^0 = 0$ . Построим на векторах  $\eta^0, A \eta^0, \dots, A^{n-1} \eta^0$  линейное пространство  $L$ . Из теоремы Кэлли—Гамильтона следуют очевидные соотношения  $L \subset \ker C$ ,  $AL \subset L$ ,  $\eta^0 \in L$ .

**Д о с т а т о ч н о с т ь.** Пусть  $\eta^0 \in M^0$ ,  $AM^0 \cup M^0 \subset \ker C$ . Тогда  $C \eta^0 = 0$ ,  $CA \eta^0 = 0$ , ...,  $CA^{n-1} \eta^0 = 0$ . Отсюда следует, что

$$C \exp(At) \eta^0 = \alpha_1(t) C \eta^0 + \alpha_2(t) CA \eta^0 + \dots + \alpha_n(t) CA^{n-1} \eta^0 = 0, \quad \forall t.$$

Множество векторов вида

$$\{\zeta = (0, \eta) \mid \eta = \exp(At) \eta^0, \eta^0 \in M^0\}$$

образует подалгебру в  $L^n$  размерности  $n^0 = \dim M^0$ . Действительно, указанное множество образует линейное подпространство размер-

ности  $n^0$ , являющееся подалгеброй, поскольку  $L^n$  — абелева алгебра Ли.

Уравнение (2.14) для универсальных инвариантов в рассматриваемом случае принимает вид

$$\partial J \exp(At) \eta^0 = 0, \quad (2.20)$$

т. е. вектор ортогонален векторам  $\exp(At) \eta^0$  и пространству  $M^0$ . Поскольку  $n^0 = \dim M^0$ , то система уравнений (2.20) имеет  $n + 1 - n^0$  функционально независимых решений. Наиболее простой вид эти решения имеют в том случае, если базис в пространстве  $Y = R^n(x^1, \dots, x^n)$  выбрать следующим образом: первые  $(n - n^0)$  векторов ортогональны пространству  $M^0$ , а остальные образуют базис в пространстве  $M^0$ , которое является максимальным инвариантным пространством матрицы  $A$  и находится в терминальном пространстве  $M$ . Отсюда следует, что для решения задачи редуцирования необходимо соответствующим образом выбрать эквивалентный линейный объект и терминальное линейное многообразие.

В уравнении (2.15) произведем замену переменных по формуле

$$x' = Ex,$$

где невырожденная матрица  $E$  строится следующим образом.

1. Первые  $l$  строк матрицы  $E$  образуют строки матрицы  $C$ , которая входит в уравнение (2.16), задающее терминальное пространство  $M$ . Поскольку это пространство регулярно, то эти строки линейно независимы.

2. Пополним эту систему строк линейно независимыми от нее строками матриц  $CA, CA^2, \dots, CA^{n-1}$ . Если пространство  $M^0$  является нулевым, то невырожденная матрица преобразований построена.

3. Если пространство  $M^0$  не является нулевым, то, дополнив полученную систему векторов до базиса в пространстве  $R^n$ , получим матрицу  $E$ .

Построенная таким образом матрица будет содержать  $l$  векторов, ортогональных пространству  $M$ ,  $n - n^0 - l$  векторов, лежащих в  $M$  и ортогональных  $M^0$ , и  $n^0$  векторов из пространства  $M^0$ . Сделав в уравнениях (2.15) и (2.16) замену переменных по формуле  $x' = Ex$ , получим следующие уравнения в матричной форме

$$\dot{x}' = A'x' + B'\Theta, \quad (2.21)$$

$$C'x' = 0, \quad (2.22)$$

где  $A' = EAE^{-1}$ ,  $B' = EB$ ,  $C' = CE^{-1}$ .

Из процедуры построения матрицы  $E$  вытекают следующие утверждения.

1. Матрица  $C'$  состоит из  $l$  первых строк единичной матрицы размера  $nn$  (следствие того, что первые  $l$  строк в матрицах  $C$  и  $E$  совпадают).

2. Матрица, задающая максимальное инвариантное простран-



ство, состоит из первых  $n - n^0$  строк единичной матрицы размера  $nn$ .

3. Матрица  $A'$  состоит из четырех блоков (полураспавшаяся матрица):

$$A' = \begin{pmatrix} A_1 & 0 \\ A_2 & A_3 \end{pmatrix},$$

где  $A_1$  — матрица размера  $(n - n^0) \times (n - n^0)$ ,

$A_2$  — матрица размера  $n^0 \times (n - n^0)$ ,

$A_3$  — матрица размера  $n^0 \times n^0$ .

Эти свойства означают, что система (2.21) распадается на две подсистемы, одна из которых, состоящая из  $n - n^0$  первых уравнений, содержит только переменные, входящие в уравнение (2.22) для терминального многообразия, и может исследоваться самостоятельно.

Таким образом, для представления задачи (2.14), (2.16) в форме (2.21), (2.22) достаточно, чтобы в терминальном многообразии (2.16) содержалось нетривиальное инвариантное пространство матрицы  $A$ . Обратное утверждение очевидно. Критерий нетривиальности пространства  $M^0$   $\text{rank } [C, CA, \dots, CA^{n-1}] < n$ , что означает в терминологии [39] наблюдаемость пары матриц  $A, C$ .

Алгоритм построения матрицы преобразования  $E$  и вычисления матриц  $A', B', C'$  был реализован на ЭВМ в виде ФОРТРАН-программы объемом в 150 операторов.

## 2.5. Решение неантагонистической дифференциальной игры качества

Рассматриваются два объекта со следующими уравнениями движения

$$\dot{x}_i = v_i \sin \omega_i \alpha_i, \quad \dot{y}_i = v_i \cos \omega_i \alpha_i, \quad \dot{\alpha}_i = u_i, \quad (2.23)$$

где  $i = 1, 2, |u_i| \leq 1$ .

С каждым объектом связывается терминальное множество  $M_i$ , являющееся отрезком длины  $l_i$ , направленным по вектору скорости  $i$ -го игрока. Множество  $M_i$  интерпретируется как цель  $i$ -го игрока в неантагонистической дифференциальной игре качества. Воспользуемся математическим аппаратом, изложенным в параграфах 2.3 и 2.4, для построения редуцированного пространства игры.

Инфинитезимальный и продолженный операторы представим в виде

$$\zeta \partial = \bar{x} \partial_t + \bar{x}_1 \partial_{x_1} + \dots + \bar{x}_2 \partial_{x_2},$$

$$\xi = \zeta \partial + \bar{x}_1 \partial_{x_1} + \dots + \bar{x}_2 \partial_{x_2},$$

где  $D = \partial_t + \dot{x} \partial_{x_1} + \dots + \dot{\alpha}_2 \partial_{\alpha_2}$ ,

$$(\bar{x}_1, \dots, \bar{\alpha}_2) = D(\bar{x}_1, \dots, \bar{\alpha}_2) - (\dot{x}_1, \dots, \dot{\alpha}_2) D^*.$$

Критерий инвариантности с учетом (2.23) запишется в виде уравнения

$$(\bar{x}_1, \dots, \bar{\alpha}_2) = d(\bar{x}_1, \dots, \bar{\alpha}_2) - (\cos \alpha_1, \sin \alpha_1, \dots, u_2) d\bar{t},$$

где

$$d = \partial_t + \cos \alpha_1 \partial_{x_1} + \dots + u_2 \partial_{\alpha_2},$$

решение которого приводит к касательному полю

$$\zeta = (0, C_3^1 y_1 + C_1^1, C_3^1 x_1 + C_2^1, C_3^1, C_3^2 y_2 + C_1^2, C_3^2 x_2 + C_2^2, C_3^2).$$

Этому полю соответствует следующая система функционально независимых инвариантов

$$J_1 = \alpha_1 - \alpha_2,$$

$$J_2 = (x_2 - x_1) \cos \alpha_1 + (y_2 - y_1) \sin \alpha_1,$$

$$J_3 = (y_2 - y_1) \cos \alpha_1 - (x_2 - x_1) \sin \alpha_1.$$

Обозначив  $J_1 = \Theta$ ,  $J_2 = x$ ,  $J_3 = y$ , перепишем уравнения (2.23) в виде

$$\dot{x} = -\omega_1 u_1 y + v_2 \sin \Theta,$$

$$y = \omega_1 u_1 x - v_1 + v_2 \cos \Theta,$$

$$\Theta = -\omega_1 u_1 + \omega_2 u_2.$$

Полученная система уравнений представляет собой уравнения движения автомобилей в редуцированном пространстве [8]. Причем автомобили движутся в горизонтальной плоскости со скоростями  $v_i$ , максимальными угловыми скоростями  $\omega_i$  и областями «захвата», состоящими из отрезков длины  $l_i$ . Управление  $u_i$  представляет собой нормализованную угловую скорость и принимает следующие значения:  $u_i = 0$  — объект движется прямо,  $u_i = 1$  — крутой правый разворот,  $u_i = -1$  — крутой левый разворот. Очевидно, что множества  $M_i$  также могут быть заданы через координаты  $\Theta$ ,  $x$ ,  $y$ .

Основной смысл игры заключается в следующем: выбрав с помощью управления определенный вид маневра, автомобили пытаются решить игру в свою пользу. Игра заканчивается, если один из автомобилей пересекает область «захвата» второго автомобиля.

Для заданных исходных данных попытаемся решить задачу разбиения всего пространства начальных позиций противоборствующих объектов на зоны различного назначения, т. е. решить задачу, поставленную в гл. 1.

Как показано в [6, 102], области различного назначения состоят из кусков полупроницаемых поверхностей, которые формируются в результате рассмотрения особой локальной дифференциальной игры с терминальной платой [8]. Если предположить, что

эта игра имеет положительное или отрицательное значение (победа второго или первого игрока), то сопряженные переменные и оптимальное управление  $u_i$  должны удовлетворять основному уравнению

$$\max_{u_2} \min_{u_1} (V_x \dot{x} + V_y \dot{y} + V_\theta \dot{\theta}) = 0,$$

где  $V_x$ ,  $V_y$ ,  $V_\theta$  — сопряженные переменные.

Это уравнение позволяет сформировать полупроницаемую плоскость, состоящую из траекторий противоборствующих объектов при выполнении ими заданных маневров. Геометрия этих маневров представлена на рис. 3, 4. Каждый маневр обозначен символом алфавитно-цифрового печатающего устройства, которым выведен на печать соответствующий барьер (в скобках указаны обозначения зеркальных маневров). На рис. 5 представлен граф, показывающий процесс формирования барьеров различного назначения. Основные параметры маневров и границы их изменения сведены в табл. 3, 4.

В таблицах и на рисунках использовались следующие обозначения:

$$B1 = (\omega_1 l_1 < v_2), B2 = (\omega_2 l_2 < v_1), C = (v_1^2 \leq v_2^2 + \omega_2^2 l_2^2) —$$

логические переменные;  $x$ ,  $y$ ,  $\theta$  — фазовые координаты;  $V_x = \cos \varphi$ ,  $V_y = \sin \varphi$ ,  $V_\theta$  — сопряженные переменные в системе координат, связанной с первым игроком; чертой над этими символами обозначены те же переменные в системе координат, связанной со вторым игроком; индекс  $f$  означает конечное значение соответствующих переменных;  $\tau$  — длительность особой траектории.

Построение траекторий противоборствующих объектов продолжается до тех пор, пока функции переключения  $A$  и  $V_\theta$  имеют знак, соответствующий оптимальному маневру для различных локальных игр. Причем величина  $A$  задается формулой

$$A = yV_x - xV_y + V_\theta.$$

Изменение функций переключения во времени  $t$  задается формулами

$$V_\theta = V_{\theta f} - v_2/\omega_2 u_2 [\sin(\theta_f + \varphi - \omega_2 u_2 t) - \sin(\theta_f + \varphi)],$$

$$A = A_f + v_1/\omega_1 u_1 [\sin \varphi - \sin(\varphi - u_1 \omega_1 t)],$$

$$A = A_f + v_1/\omega_1 \sin(\omega_1 t) \text{ при } 0 \leq t \leq t_1,$$

$$A = A_f + v_1/\omega_1 [\sin \alpha_1 + \omega_1 (t - t_1) \cos \alpha] \text{ при } t_1 \leq t \leq \tau,$$

$$A = A_f + v_1/\omega_1 \{ \sin \alpha_1 + \omega_1 (t - t_1) \cos \alpha + \sin [\alpha_1 + \omega_1 (t - \tau)] \}$$

при  $t \geq \tau$ .

Остальные величины, входящие в табл. 3, 4, принимают следующие значения:  $A W1 = \arcsin(\omega_1 l_1/v_2)$ ;  $A W2 = \arcsin(\omega_2 l_2/v_2)$ ;

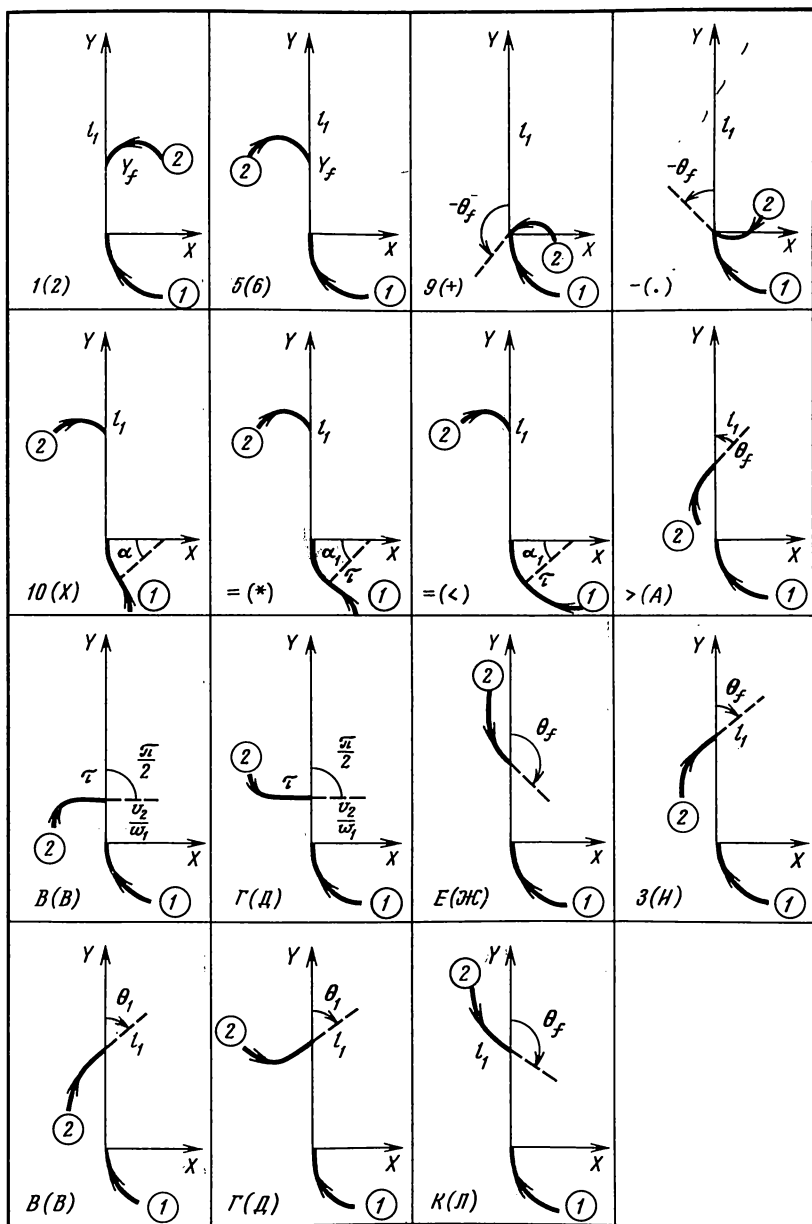


Рис. 3. Геометрия маневрирования динамических объектов

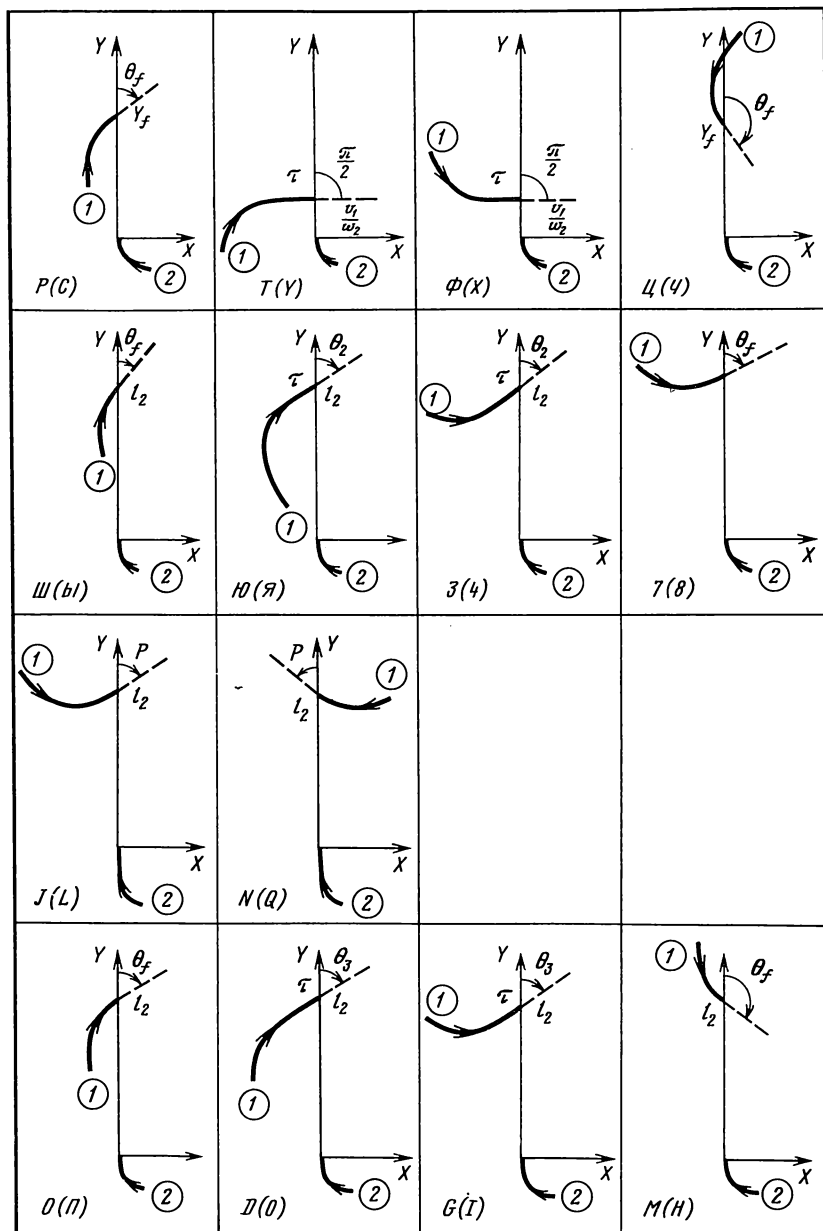


Рис. 4. Геометрия маневрирования динамических объектов



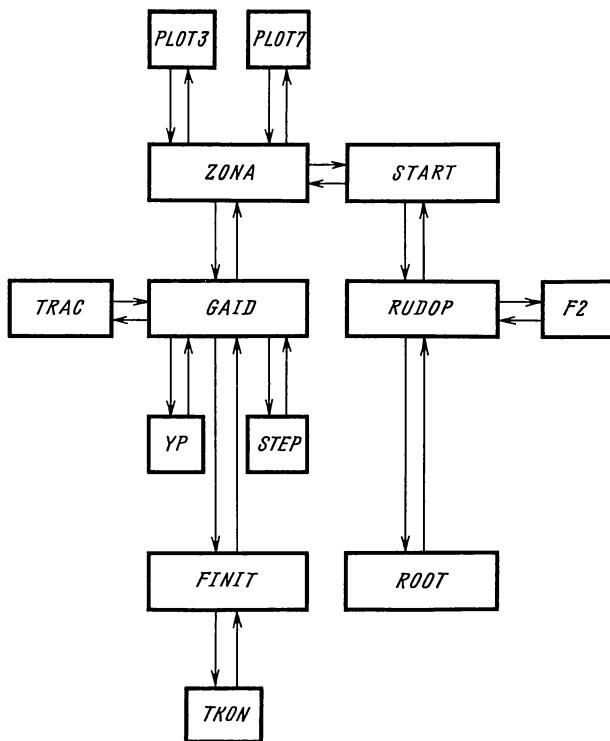


Рис. 6.  
Структурная схема пакета программ

написанных на языке ФОРТРАН, общим объемом около 800 операторов. Назначение программ:

программа *ZONA* — головная программа пакета: организует ввод исходных данных, заполнение таблиц и взаимодействие подпрограмм пакета;

программа *START* предназначена для формирования начальных условий для различных барьеров;

программа *GAID* предназначена для формирования управлений, воздействующих на объект, при его движении от терминального множества;

программа *FINIT* предназначена для определения момента окончания интегрирования соответствующих уравнений и задание начальных значений сопряженных переменных;

программа *TRAC* предназначена для интегрирования уравнений движения объектов в обратном времени;

программа *PLOT3* предназначена для построения зависимости курсового угла от времени;

программа *PLOT7* предназначена для вывода графиков, заданных параметрически;

программа *YP* реализует управление игроков; ее параметры определяются программой *GAID*;

Таблица 3. Параметры маневров и границы их изменения

Символ	Конечные условия ( $x_f=0$ )		Условия сущест- вования	$u_1$	$u_2$	Параметр и границы
	$y_f$	$\theta_f$				
1(2)	$y_f$	$\pi$		1	-1	$y_f \in [0, l_1]$
5(6)	$y_f$	$\pi$		1	1	$y_f \in [0, l_1]$
9(+)	0	$\theta_f$		1	-1	$\theta_f \in [-\pi, -P]$
- (·)	0	$\theta_f$		1	1	$\theta_f \in [-P, 0]$
10(x)	$l_1$	$\pi$		-1→1	1	$\tau \in [0, t_1]$
= (*)	$l_1$	$\pi$		-1→0→1	1	$\tau \in [t_1, t_2]$
≠ (<)	$l_1$	$\pi$		1→0→1	1	$\tau \in [t_1, t_2]$
> (A)	$y_f$	$AW1$		1	1	$y_f \in [0, AM1]$
Б(В)	$v_2/\omega_1$	$\pi/2$	$\overline{B1}$	1	1→0	$\tau \in [0, TP\theta]$
Г (Д)	$v^2/\omega_1$	$\pi/2$	$\overline{B1}$	1	-1→0	$\tau \in [0, TP\theta]$
Е(Ж)	$y_f$	$\pi-AW1$		1	-1	$y_f \in [0, AM1]$
З(И)	$l_1$	$\theta_f$	$B1$	1	1	$\theta_f \in [AW1, \theta_1]$
Б(В)	$l_1$	$\theta_1$	$B1$	1	1→0	$\tau \in [0, TP\theta]$
Г(Д)	$l_1$	$\theta_1$	$B1$	1	-1→0	$\tau \in [0, TP\theta]$
К(Л)	$l_1$	$\theta_f$	$B1$	1	-1	$\theta_f \in [\theta_1, \pi-AW1]$

Таблица 4. Параметры маневров и границы их изменения

Символ	Конечные условия ( $x_f=0$ )		Условия сущест- вования	$u_1$	$u_2$	Параметр и границы
	$\bar{y}_f$	$\bar{\theta}_f$				
Р(С)	$\bar{y}_f$	$AW2$		1	1	$\bar{y}_f \in [0, AW2]$
Т(У)	$v_1/\omega_2$	$\pi/2$	$\overline{B2}$	1→0	1	$\tau \in [0, t_2]$
Ф(Х)	$v_1/\omega_2$	$\pi/2$	$\overline{B2}$	-1→0	1	$\tau \in [0, t_2]$
Ц(Ч)	$\bar{y}_f$	$\pi-AW2$		-1	1	$\bar{y}_f \in [0, AM2]$
Ш(Ы)	$l_2$	$\bar{\theta}_f$		1	1	$\bar{\theta}_f \in \begin{cases} [-P, AW2], \text{ если } \bar{C} \\ [-P, \theta_2], \text{ если } C \end{cases}$
Ю(Я)	$l_2$	$\theta_2$	$C$	1→0	1	$\tau \in [0, t_3]$
З(4)	$l_2$	$\theta_2$	$C$	-1→0	1	$\tau \in [0, t_3]$
7(8)	$l_2$	$\bar{\theta}_f$		-1	1	$\bar{\theta}_f \in \begin{cases} [P, \pi-AW2], \text{ если } \bar{C} \\ [P, \theta_2], \text{ если } C \end{cases}$
Ј(Л)	$l_2$	$P$		1	1→0	$\tau \in [0, t_3]$
Н(Ө)	$l_2$	-P		1	1→0	$\tau \in [0, t_3]$
О(П)	$l_2$	$\bar{\theta}_f$	$B2 \wedge C$	1	1	$\theta_f \in [\theta_3, AW2]$
Д(О)	$l_2$	$\theta_3$	$B2 \wedge C$	1→0	1	$\tau \in [0, t_3]$
Г(І)	$l_2$	$\theta_3$	$B2 \wedge C$	-1→0	1	$\tau \in [0, t_3]$
М(Н)	$l_2$	$\theta_f$	$B2 \wedge C$	-1	1	$\theta_f \in [\theta_3, \pi-AW2]$



Таблица 3 (окончание)

Время $t_k$ выхода на угол $\theta$	$T$	$\operatorname{tg} \varphi$	$V_{\theta_f}$
$\theta = \theta_f + (\omega_1 + \omega_2) t_k$	$t_2$	0	$\frac{\omega_1 y_f}{\omega_1 + \omega_2}$
$\theta = \theta_f + (\omega_1 - \omega_2) t_k$	$t_2$	0	$\frac{\omega_1 y_f}{\omega_1 - \omega_2}$
$\theta = \theta_f + (\omega_1 + \omega_2) t_k$	$t_2$	$\frac{v_2 \sin \theta_f}{v_1 - v_2 \cos \theta_f}$	0
$\theta = \theta_f + (\omega_1 - \omega_2) t_k$	$t_2$	$\frac{v_2 \sin \theta_f}{v_1 - v_2 \cos \theta_f}$	0
$\theta = \pi + 2 \cdot \tau \cdot \omega_1 - (\omega_1 + \omega_2) t_k$	$t_2$	0	$\frac{-\omega_1 u_1 l_1}{\omega_1 u_1 - \omega_2}$
$\theta = \pi + (t_1 + \tau) \omega_1 - (\omega_1 + \omega_2) t_k$	$t_2$	0	$\frac{-\omega_1 l_1}{\omega_1 - \omega_2}$
$\theta = \pi - (\tau - t_1) \omega_1 + (\omega_1 - \omega_2) t_k$	$t_2$	0	$\frac{-\omega_1 l_1}{\omega_1 - \omega_2}$
$\theta = \theta_f + (\omega_1 - \omega_2) t_k$	$t_2$	0	0
$0 = \frac{\pi}{2} + (\omega_1 - \omega_2) t_k + \omega_2 \tau$	$TP\theta$	0	0
$\theta = \frac{\pi}{2} + (\omega_1 + \omega_2) t_k - \omega_2 \tau$	$TP\theta$	0	0
$\theta = \theta_f + (\omega_1 + \omega_2) t_k$	$t_2$	0	0
$\varphi = \theta_f + (\omega_1 - \omega_2) t_k$	$t_2$	$\frac{-\omega_1 l_1 + v_2 \sin \theta_f}{v_1 - v_2 \cos \theta_f}$	0
$\theta = \theta_f + \omega_2 \tau + (\omega_1 - \omega_2) t_k$	$TP\theta$	$\operatorname{ctg} \theta_f$	0
$\theta = \theta_f - \omega_2 \tau + (\omega_1 + \omega_2) t_k$	$TP\theta$	$\operatorname{ctg} \theta_f$	0
$\theta = \theta_f + (\omega_1 + \omega_2) \tau$	$t_2$	$\frac{-\omega_1 l_1 + v_2 \sin \theta_f}{v_1 - v_2 \cos \theta_f}$	0

Таблица 4 (окончание)

Время $t_k$ выхода на угол $\theta$	$T$	$\operatorname{tg} \varphi$	$V_{\theta_f}$
$\bar{\theta} = \bar{\theta}_f + (\omega_2 - \omega_1) t_k$	$t_2$	0	0
$\bar{\theta} = \bar{\theta}_f + (\omega_2 - \omega_1) t_k + \omega_1 \tau$	$t_2$	—	—
$\bar{\theta} = \bar{\theta}_f + (\omega_1 + \omega_2) t_k - \omega_1 \tau$	$t_2$	—	—
$\bar{\theta} = \bar{\theta}_f + (\omega_1 + \omega_2) t_k$	$t_2$	0	0
$\bar{\theta} = \bar{\theta}_f + (\omega_2 - \omega_1) t_k$	$t_2$	—	—
$\bar{\theta} = \bar{\theta}_f + \omega_1 \tau + (\omega_2 - \omega_1) t_k$	$t_3$	—	—
$\bar{\theta} = \bar{\theta}_f + \omega_1 \tau + (\omega_2 - \omega_1) t_k$	$t_3$	—	—
$\bar{\theta} = \bar{\theta}_f + (\omega_1 + \omega_2) t_k$	$t_2$	—	—
$\bar{\theta} = \bar{\theta}_f + \omega_2 \tau + (\omega_1 + \omega_2) t_k$	$t_3$	—	—
$\bar{\theta} = \bar{\theta}_f - \omega_2 \tau + (\omega_2 - \omega_1) t_k$	$t_3$	—	—
$\bar{\theta} = \bar{\theta}_f + (\omega_2 - \omega_1) t_k$	$t_2$	—	—
$\bar{\theta} = \bar{\theta}_f - \omega_1 \tau + (\omega_1 + \omega_2) t_k$	$t_3$	—	—
$\bar{\theta} = \bar{\theta}_f - \omega_1 \tau + (\omega_1 + \omega_2) t_k$	$t_3$	—	—
$\bar{\theta} = \bar{\theta}_f + (\omega_1 + \omega_2) t_k$	$t_2$	—	—

программа *STEP* определяет шаг и время интегрирования до момента переключения;

программа *TKON* определяет время разворота объекта из заданного начального состояния до конечного состояния;

программа *ROOT* определяет корни трансцендентного уравнения на заданном отрезке вещественной оси;

программа *F2* реализует уравнения, задающие моменты переключения управлений;

программа *RVDOP* реализует метод дихотомии поиска корня функции на заданном отрезке.

В пакете программ реализован стандартный способ решения дифференциальной игры качества, основанный на интегрировании уравнений характеристик в регрессивной форме. Визуальный анализ зон превосходства позволяет исключить из рассмотрения те барьеры, которые не образуют замкнутых поверхностей в пространстве игры (при окончательном построении зоны превосходства эти барьеры не выводятся на терминальное устройство).

Покажем работу пакета программ для следующих параметров противоборствующих объектов (параметры заданы в относительных единицах):  $v_1 = 1$ ,  $v_2 = 0,75$ ,  $\omega_1 = 1$ ,  $\omega_2 = 3$ ,  $l_1 = 2$ ,  $l_2 = 3$  [102]. Анализ этих параметров показывает, что второй объект, имея несколько меньшую линейную скорость, значительно превосходит первый объект по маневренности и дальности «захвата».

## ЛИНГВИСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ КОНФЛИКТА УПРАВЛЯЕМЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

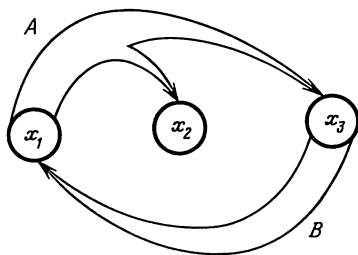
### 3.1. Анализ стратегий в задаче противоборства в условиях неполной и нечеткой информации

В качестве исходной выберем модель боевых действий двух сторон, изученную в работах [24, 61]. Сущность этой модели состоит в следующем (рис. 7). Боевые действия происходят между двумя сторонами  $A$  и  $B$ , причем сторона  $A$  имеет только средства нанесения удара  $x_1$ , а сторона  $B$  имеет две группировки объектов — обороняемые объекты  $x_2$  и средства нанесения удара  $x_3$ . Соотношение атакующих и обороняемых объектов стороны  $B$  точно не известно. Задача стороны  $A$  — в течение ограниченного интервала времени  $(t_0, t_n)$  уничтожить группировку  $x_2$  стороны  $B$ . В свою очередь, сторона  $B$ , используя средства нанесения удара  $x_3$ , стремится сохранить максимальное число не пораженных к моменту времени  $t_n$  обороняемых объектов. Изменение численности группировок можно описать системой линейных дифференциальных уравнений:

$$\dot{x}_1 = -x_3 P_{31}, \quad \dot{x}_2 = -x_1 P_{12} u_1, \quad \dot{x}_3 = -x_1 P_{13} u_2, \quad (3.1)$$

где  $P_{ij}$  — эффективность воздействия на один объект  $j$ -й группировки одним средством  $i$ -й группировки;  $u_i (i = 1, 2)$  — доля средств стороны  $A$ , выделяемая для поражения  $x_2$  и  $x_3$  стороны  $B$ .

Рис. 7.  
Модель противоборства  
между сторонами  
 $A$  и  $B$



Функции выигрыша для противоборствующих сторон могут быть представлены в виде  $J_A = f(\omega_1)$ ,  $J_B = f(\omega_2)$ , где  $\omega_1$  — разность мощностей множества  $x_2$  в моменты  $t_0$  и  $t_n$ ,  $\omega_2$  — разность мощностей множества  $x_1$  в те же моменты времени. При заданных функциях выигрыша указанный конфликт представляет собой дифференциальную игру двух «лиц»  $A$  и  $B$  с ненулевой суммой.

Для решения этой игры, кроме функции выигрыша, должны быть заданы: начальные составы группировок  $x_{10}$ ,  $x_{20}$ ,  $x_{30}$ , моменты времени  $t_0$  и  $t_n$ . Классическая модель боевых действий предполагает, что стороны обмениваются ударами в одни и те же фиксированные моменты времени  $t_k$  [24].

Анализ реальных процессов принятия решений в конфликтных ситуациях показывает, что при формализации конфликта на основе дифференциальных игр принимается ряд достаточно грубых допущений. В первую очередь следует отметить, что на самом деле величина  $P_{ij} \neq \text{const}$ ; она меняется в зависимости от номера атаки и «силы» противодействия противника. Кроме того, в реальных задачах л. п. р. склонно учитывать не только математическое ожидание, но и распределение вероятностей в целом. И наконец, в реальных ситуациях информация о численном составе группировок противника оказывается весьма приближенной (формализованный конфликт предполагает точную информацию о составе группировок), а именно эта информация определяет достоверность субъективных оценок л. п. р. Для количественного обоснования эффективных решений в конфликтных ситуациях могут использоваться различные подходы.

### 3.1.1. Обоснование решений с помощью теории полезности

Предположим, что активная сторона  $A$ , имея в своем распоряжении средства  $x_1$ , может выбрать одну из следующих стратегий:  $D_1$  — атака группировки  $x_3$ , а затем в зависимости от исхода — атака  $x_2$  или одновременная атака  $x_2$  и  $x_3$ ;  $D_2$  — одновременная атака  $x_2$  и  $x_3$ ;  $D_3$  — атака группировки  $x_2$ . Возможность уничтожения группировки  $x_2$  в этом случае зависит от следующих факторов:  $k_1$  — соотношение численностей группировок сторон  $A$  и  $B$ ;  $K_2$  — интегральная маневренность атакующих объектов;  $K_3$  — качество деятельности операторов атакующих объектов;  $K_4$  — временной ресурс ( $t_0$ ,  $t_n$ ) на выполнение задачи. Так, при численном перевесе группировки  $x_1$  над  $x_3$ , одинаковой интегральной маневренности атакующих объектов противников и отличной квалификации операторов стороны  $A$  применение стратегии  $D_1$  обеспечивает большую вероятность уничтожения группировки  $x_2$ . При численном перевесе  $x_3$  над  $x_1$ , одинаковой интегральной маневренности атакующих объектов и отличной квалификации операторов стороны  $A$  вероятности уничтожения  $x_2$  в результате реализации стратегий  $D_1$  и  $D_2$  примерно одинаковы. В ситуациях, когда атакующие объекты стороны  $A$  по интегральной маневренности уступают противнику, по численности его не превосходят, а допустимое время решения задачи достаточно мало, сторона  $A$  может применить стратегию  $D_3$ , обеспечивающую определенную вероятность уничтожения группировки  $x_2$ . При этом она понесет большие потери, которые не всегда будут оправданными [61].

Приведенные рассуждения экспертов подтверждают выбор

факторов, влияющих на возможность уничтожения группировки  $x_2$ , и вместе с тем указывают, что при оценке эффективности стратегий важно также учесть потери, которые понесут обе противоборствующие стороны при обоих исходах противоборства: группировка  $x_2$  уничтожена ( $C_1$ ), не уничтожен хотя бы один объект группировки  $x_2$  ( $C_2$ ). Потери группировок  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$  выступают в качестве критериев  $K_5$ ,  $K_6$ ,  $K_7$  оценки возможных исходов  $C_1$ ,  $C_2$  стратегий  $D_1$ ,  $D_2$ ,  $D_3$ . Вследствие уникальности в смысле [48] задач противоборства, отсутствия точной информации о численном составе противника, а также в силу сложности объективного измерения качества деятельности операторов, количественного определения вероятности уничтожения группировки  $x_2$  и соответствующих потерь противоборствующих сторон необходимым оказывается использование в процессе решения задачи дополнительной экспертной информации, субъективных оценок и предпочтений л. п. р.

Субъективные оценки экспертов, лица, принимающего решение (сторона  $A$ ), как правило, являются интуитивными, приближенными. Так, в приведенных рассуждениях экспертов при описании значений факторов  $K_1, \dots, K_4$ , в оценке вероятности уничтожения группировки  $x_2$  и потерь противников используются нечеткие понятия типа: ЗНАЧИТЕЛЬНЫЙ, ОТЛИЧНАЯ, БОЛЬШАЯ, ВЫСОКИЕ. Предполагается также, что у л. п. р. на основе опыта и имеющейся информации формируется приближенное представление о соотношении численностей атакующих группировок сторон  $A$  и  $B$ . Суждения л. п. р. принимают вид: МАЛОВЕРОЯТНО, группировки ПРИМЕРНО ОДИНАКОВЫ по численности.

На основании вышеизложенного определим ряд особенностей задачи выбора стратегий при противоборстве двух сторон.

1. Выбор стратегий происходит в условиях недетерминированных исходов, обусловленных, в частности, отсутствием точной информации о численности группировок противника. Реализация каждой из стратегий при фиксированном соотношении численностей атакующих группировок  $x_1$  и  $x_3$  сторон  $A$  и  $B$  приводит к одному из исходов  $C_1$  и  $C_2$ . Вероятности наступления последних определяются на основе информации, получаемой от л. п. р., экспертов.

2. Анализ эффективности стратегий осложняется наличием нескольких факторов  $K_1, \dots, K_4$ , влияющих на вероятность уничтожения группировки  $x_2$  противника, а также необходимостью учета возможных потерь обеих сторон (критерии  $K_5, \dots, K_7$ ) при возможных исходах противоборства.

3. Модели выбора стратегий в указанной задаче могут быть построены на основании дополнительной информации, получаемой от л. п. р. и экспертов. Причем субъективные оценки и предпочтения л. п. р. являются приближенными, нечеткими и описываются нечеткими понятиями, отношениями или высказываниями естественного языка.

Дерево решений задачи выбора стратегий представлено на

рис. 8. Здесь  $P_i$  — вероятность  $i$ -го соотношения численностей (например, НЕЗНАЧИТЕЛЬНО БОЛЬШЕ) атакующих группировок противников;  $P_{ji}^k$  — вероятность появления исхода  $C_k$ ,  $K = 1, 2$  в результате реализации стратегии  $D_j$  при  $i$ -м соотношении численностей.

В силу указанных особенностей задачи для ее решения целесообразным является применение математического аппарата — теории нечетких множеств и теории полезности, обеспечивающего

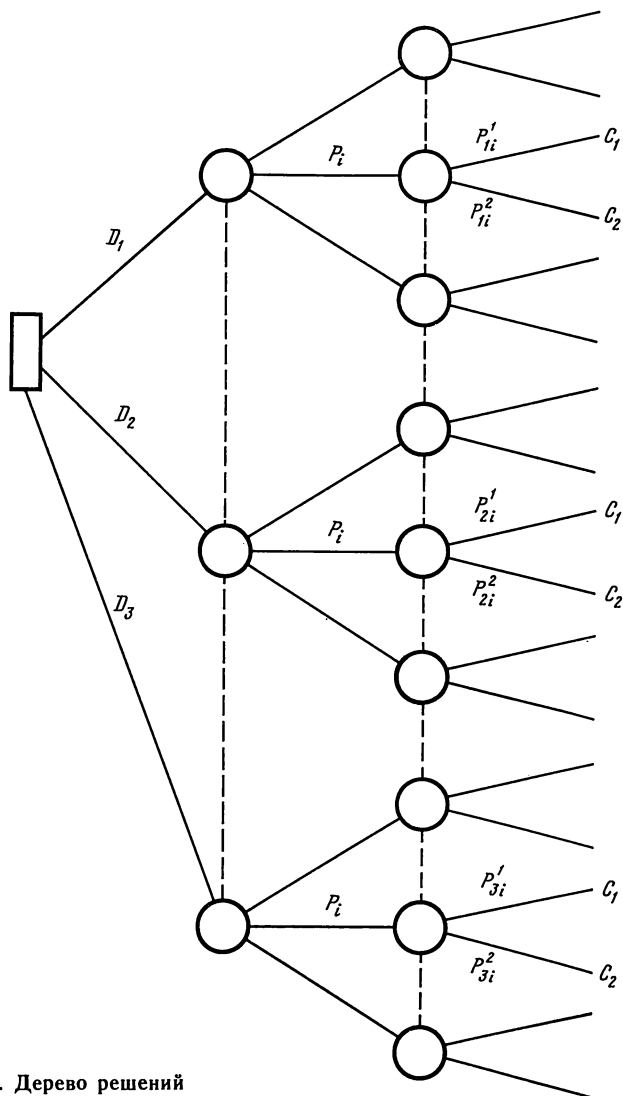


Рис. 8. Дерево решений

в условиях нечеткой информации и недетерминированных исходов возможность формализации системы предпочтений л. п. р. Согласно данному подходу [62, 101], в качестве целевой функции задачи или меры эффективности стратегий используется функция нечеткой ожидаемой полезности. Алгоритм решения задачи выбора стратегий сводится к выполнению последовательности этапов:

1. Формализация нечеткой информации.
2. Определение вероятностей  $P_{ji}^k$  исходов на основе нечеткой информации о значениях факторов  $K_1, \dots, K_4$ .
3. Оценивание полезностей исходов с учетом соответствующих потерь противников.
4. Определение нечетких ожидаемых полезностей стратегий и их сравнение.

Рассмотрим методы решения задачи на каждом из этапов.

**Формализация нечеткой информации.** В моделях выбора решений формализация нечеткой информации основывается на применении понятий лингвистической переменной и нечеткого множества [66]. Первое из них обеспечивает переход от словесного описания информации к числовому, второе является средством числового представления информации. В данном параграфе вводятся лингвистические переменные: СООТНОШЕНИЕ ЧИСЛЕННОСТЕЙ, КАЧЕСТВО, ВЕРОЯТНОСТЬ, ПОТЕРИ и т. д. Например, терм-множество  $T(K_3)$  лингвистической переменной  $K_3$  (КАЧЕСТВО) включает:  $T(K_3) = \{\text{ОТЛИЧНОЕ, СРЕДНЕЕ, ПЛОХОЕ}\}$ . Каждый из термов  $Y \in T(K_3)$  является нечеткой переменной  $\langle Y, U_k, \tilde{Y} \rangle$  и формализуется нечетким множеством  $\tilde{Y}$  с функцией принадлежности  $\mu_{\tilde{Y}}: U_k \rightarrow [0, 1]$  (см. рис. 13). Базовая переменная  $y$  универсального множества  $U_k$  характеризует способность оператора к прогнозированию  $y = \Delta y t$ , где  $\Delta y$  — погрешность прогнозирования,  $t$  — время прогнозирования или принятия решения. Степень принадлежности  $\mu_{\tilde{Y}}(y)$  интерпретируется как субъективная мера того, насколько элемент  $y \in U_k$  соответствует понятию, смысл которого формализуется нечетким множеством  $\tilde{Y}$ . Обзор методов построения функций принадлежности нечетких множеств приведен в [35].

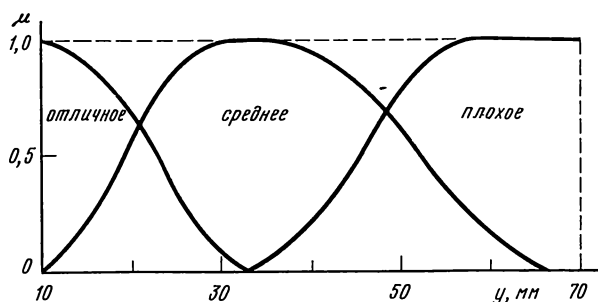


Рис. 9.

Функции принадлежности для базовых термов лингвистической переменной КАЧЕСТВО

**Определение вероятностей исходов.** Подход основывается на предположении, что л. п. р. на основании своего опыта может сформулировать ряд эвристик, базирующихся на суждениях, типа приведенных выше и характеризующих вероятность уничтожения группировки  $x_2$  в результате реализации одной из стратегий  $D_1, D_2, D_3$ . Например:  $\mathcal{E}_1$  -- при НЕЗНАЧИТЕЛЬНОМ численном перевесе группировки  $x_1$  над  $x_3$ , одинаковой интегральной маневренности атакующих объектов противников и ОТЛИЧНОЙ квалификации операторов стороны  $A$  вероятность уничтожения группировки  $x_2$  в результате реализации стратегии  $D_1$  — БОЛЬШАЯ,  $D_2$  — СРЕДНЯЯ,  $D_3$  — МАЛЕНЬКАЯ;  $\mathcal{E}_2$  — при ПРИМЕРНОМ РАВЕНСТВЕ сил  $x_1$  и  $x_3$ , одинаковой интегральной маневренности атакующих объектов противника и ОТЛИЧНОЙ квалификации операторов стороны  $A$  вероятность уничтожения группировки  $x_2$  в результате применения стратегии  $D_1$  — МАЛЕНЬКАЯ,  $D_2$  — СРЕДНЯЯ,  $D_3$  — МАЛЕНЬКАЯ и т. д. На основе сформулированных эвристик определяются лингвистические оценки вероятностей  $P_{ji}^1$  при некоторых (следующих из этих эвристик) наборах значений факторов  $K_1, \dots, K_4$ . Для других наборов значений факторов указанные вероятности восстанавливаются с использованием следующей процедуры интерполяции [104].

Пусть нечеткое значение  $Y_{gi}$  фактора  $K_i$  в  $g$ -й эвристике формализуется нечетким множеством  $\tilde{Y}_{gi}$  с функцией принадлежности  $\mu_{\tilde{Y}_{gi}}(y_i)$ , а лингвистическая вероятность  $P_{jg}$  исхода  $C_i$  в результате реализации стратегии  $D_j$  — нечетким множеством  $\tilde{P}_{jg}$  с функцией принадлежности  $\mu_{\tilde{P}_{jg}}(P)$ . Обозначим  $Y_g^n = \{Y_{g1}, Y_{g2}, Y_{g3}, Y_{g4}\}$ ,  $y^{(n)} = (y_1, y_2, y_3, y_4)$ .

Тогда  $y^{(n)} \in U_{k_1} \times U_{k_2} \times U_{k_3} \times U_{k_4}$  и  $\mu_{\tilde{Y}_g^n}(y^{(n)}) = \min \{ \mu_{\tilde{Y}_{g1}}(y_1), \mu_{\tilde{Y}_{g2}}(y_2), \mu_{\tilde{Y}_{g3}}(y_3), \mu_{\tilde{Y}_{g4}}(y_4) \}$ .

На основе введенных эвристик для каждой стратегии строится нечеткое ограничение  $R$  на числовые значения факторов и вероятности

$$R(y^{(n)}, p(D_j)) = \bigcup_g \tilde{Y}^{(n)} \times \tilde{P}_{jg},$$

где  $\times$  и  $\bigcup$  — знаки декартова произведения и объединения нечетких множеств.

Определение неизвестной вероятности  $P_{ji}^1$  исхода  $C_i$  в случае  $Y_i^{(n)} = (Y_{i1}, Y_{i2}, Y_{i3}, Y_{i4})$  сводится к композиции  $\tilde{P}_{ji}^1 = \tilde{Y}_i^{(n)} R$  и осуществляется согласно выражению

$$\mu_{\tilde{P}_{ji}^1}(p) = \max_{y_i^{(n)}} \min \{ \mu_{\tilde{Y}_i^{(n)}}(y_i^{(n)}), \mu_R(y_i^{(n)}, p | D_j) \}.$$

Функция принадлежности лингвистической вероятности  $P_{ij}^2$  определяется с учетом условия  $P_1 + P_2 = 1$  по формуле

$$\mu_{P_{ji}^2}(p_2) = \mu_{\tilde{P}_{ji}^1}(1 - p_2).$$

**Оценивание полезностей исходов.** Учитывается, что нечеткое описание элементов задачи выбора обуславливает нечеткие



предпочтения л. п. р. и соответственно нечеткие полезности  $\tilde{V}_{ji}^k (\tilde{Y}_{ji}^1, \tilde{Y}_{ji}^2, \tilde{Y}_{ji}^3)$  исходов  $C_k$ . Здесь  $\tilde{Y}_{ji}^M$  — нечеткое число, описывающее возможные потери группировки  $M \in \{x_1, x_2, x_3\}$  при  $i$ -м соотношении численностей и применения стратегии  $D_j$ .

Для непосредственного восстановления многомерных нечетких полезностей  $\tilde{V}_{ji}^k$  применяется подход, аналогичный подходу к определению лингвистических вероятностей  $P_{ji}^1$  и связанный с формированием эвристики о полезности исходов  $C_1, C_2$  в зависимости от возможных потерь группировок противников (например, если в случае исхода  $C_1$  потери группировки  $x_1$  НИЗКИЕ, а группировки  $x_3$  ВЫСОКИЕ, то полезность такого исхода ВЫСОКАЯ). Другие методы оценивания полезностей в условиях нечеткой информации описываются в [62].

Рассмотрим пример определения неизвестной полезности исхода на основе метода оценки лингвистических отношений. Пусть известны полезность  $\tilde{V}_{ji}^1$  исхода  $C_1$  с функцией принадлежности  $\mu_{\tilde{V}_{ji}^1}(v_1)$  и лингвистическое отношение предпочтения  $s$  между исходами  $C_1$  и  $C_2$ . Например,  $C_1$  НЕСКОЛЬКО ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНЕЕ  $C_2$ . Последнее формализуется нечетким множеством  $s$  с функцией принадлежности  $\mu_s(s)$ . Базовая переменная  $s$  интерпретируется как отношение числовых полезностей  $v_1 / v_2$  сравниваемых исходов. Как следствие, имеет место соотношение  $v_1 = sv_2$ . С учетом последнего восстановление значений функции принадлежности полезности  $\tilde{V}_{ji}^2$  исхода  $C_2$  осуществляется согласно выражению

$$\mu_{\tilde{V}_{ji}^2}(v_2) = \max_{s \in U_s} \min \{ \mu_s(s), \mu_{\tilde{V}_{ji}^1}(s \cdot v_2) \},$$

или

$$\tilde{V}_{ji}^2 = \tilde{V}_{ji}^1 s.$$

**Определение нечетких ожидаемых полезностей стратегий и их сравнение.** Обозначим ожидаемую полезность стратегии  $D_j$  через  $V_{ож}^j$ , а ожидаемую полезность стратегии  $D_j$  в случае  $i$ -го соотношения численностей группировок  $x_1$  и  $x_3$  через  $\tilde{V}_{ож}^{ji}$ . Вычисление значений функции принадлежности  $\mu_{\tilde{V}_{ож}^{ji}}(v_{ож})$  в соответствии с деревом решений (см. рис. 8) сводится к решению следующих задач оптимизации [62, 101].

Задача 1.

$$\mu_{\tilde{V}_{ож}^{ji}}(v_{ож}) = \max_{\bar{v}\bar{p}} \min_k \min \{ \mu_{\tilde{V}_{ji}^k}(v_k), \mu_{\bar{p}_k^{ji}}(p_k) \} \quad (3.2)$$

$$\text{при условиях } \sum_k p_k v_k = v_{ож}, \quad \sum_k p_k = 1. \quad (3.3)$$

В (3.2)  $\bar{v} = (v_1, v_2)$ ,  $\bar{p} = (p_1, p_2)$  и  $k = 1, 2$

Задача 2.

$$\mu_{\tilde{V}_{ож}^{ji}}(v_{ож}) = \max_{\bar{v}\bar{p}} \min_i \min \{ \mu_{\tilde{V}_{ож}^{ji}}(v_i), \mu_{\bar{p}_i}(p_i) \} \quad (3.4)$$

при условиях (3.3).

В (3.4)  $\bar{v} = (v_1, v_2, v_3)$ ,  $\bar{p} = (p_1, p_2, p_3)$ ,  $i = \overline{1, 3}$ . Методы решения задач данного типа обсуждаются в [101].

Сравнение стратегий  $D_1, D_2, D_3$  на основе нечетких ожидаемых полезностей  $\tilde{V}_{ож}^1, \tilde{V}_{ож}^2, \tilde{V}_{ож}^3$  приводит к нечеткому множеству наиболее предпочтительных стратегий

$$\tilde{D} = \{ \langle \mu_{\tilde{D}}(D_i), D_i \rangle \}.$$

Степень принадлежности  $\mu_{\tilde{D}}(D_i)$  интерпретируется как степень истинности нечеткого высказывания  $\langle \tilde{V}_{ож}^3$  больше  $\tilde{V}_{ож}^i$  и  $\tilde{V}_{ож}^3$  больше  $\tilde{V}_{ож}^2 \rangle$  и определяется в соответствии с выражением [62]

$$\mu_{\tilde{D}}(D_3) = \max_{v_1 v_2 v_3} \min \{ \mu_{\tilde{V}_{ож}^1}(v_1), \mu_{\tilde{V}_{ож}^2}(v_2), \mu_{\tilde{V}_{ож}^3}(v_3), \mu_{R^3}(v_1, v_2, v_3) \}. \quad (3.5)$$

В (3.5)  $\mu_{R^3}(v_1, v_2, v_3)$  — функция принадлежности нечеткого отношения  $R^3$ , описывающего существенность различий числовых полезностей  $v_3$  и  $v_1, v_2$  при определении отношения превосходства,  $\tilde{V}_{ож}^3$  над  $\tilde{V}_{ож}^1$  и  $\tilde{V}_{ож}^2$ :

$$\mu_{R^3}(v_1, v_2, v_3) = \begin{cases} 1, & \text{если } V_3 - V_1 \geq \delta, V_3 - V_2 \geq \delta \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (3.6)$$

В (3.6)  $\delta$  — порог различимости.

Степень принадлежности  $\mu_{\tilde{D}}(D_i)$  характеризует степень уверенности л. п. р. в предпочтительности стратегии  $D_i$  по сравнению с другими стратегиями. В качестве лучшей выбирается стратегия  $D_0$  с наибольшим значением  $\mu_{\tilde{D}}(D_i)$ , т. е.

$$D_0 = \operatorname{argmax} \mu_{\tilde{D}}(D_i).$$

Для выбора стратегий в задаче противоборства был разработан пакет программ на ФОРТРАНЕ, реализующий рассмотренные выше методы. В пакете использовалась Библиотека стандартных программ системы математического обеспечения ФАГОЛ [10]. Анализ стратегий с использованием данного пакета программ осуществляется в режиме оперативного взаимодействия «л. п. р. — ЭВМ».

П р и м е р.

В примере использовались экспериментальные данные, полученные в результате опроса конкретной группы л. п. р. (экспертов). На рис. 10—15 представлены функции принадлежности для базовых термов лингвистических критериев, а также лингвистических переменных вероятности и полезности. В процессе опроса л. п. р. были определены также интегральная маневренность группировки  $x_1$  — ХОРОШАЯ, группировки  $x_3$  — ВЫСОКАЯ; качество деятельности операторов группировки  $x_1$  — ОТЛИЧНОЕ; время  $t$  — ВЕЛИКО; вероятные соотношения численностей группировок  $x_1$  и  $x_3$  — НЕЗНАЧИТЕЛЬНО БОЛЬШЕ ( $Z_1$ ), ПРИМЕРНО РАВНЫ ( $Z_2$ ), НЕЗНАЧИТЕЛЬНО МЕНЬШЕ ( $Z_3$ ). Причем для первых

Рис. 10.  
Функции принадлежности  
для базовых термов линг-  
вистического критерия со-  
отношения численностей

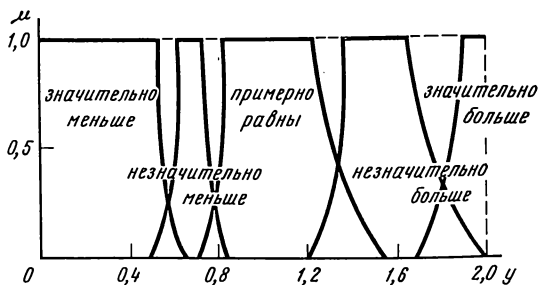


Рис. 11.  
Функции принадлежности  
для базовых термов линг-  
вистического критерия ин-  
тегральной маневренности

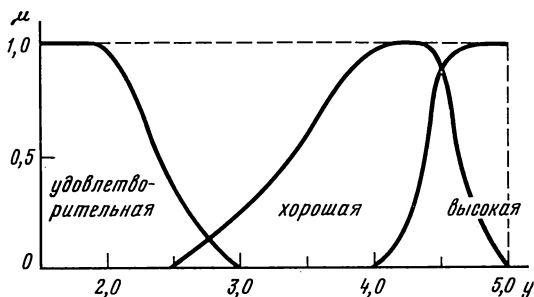


Рис. 12.  
Функции принадлежности  
для базовых термов линг-  
вистического критерия по-  
тоерь

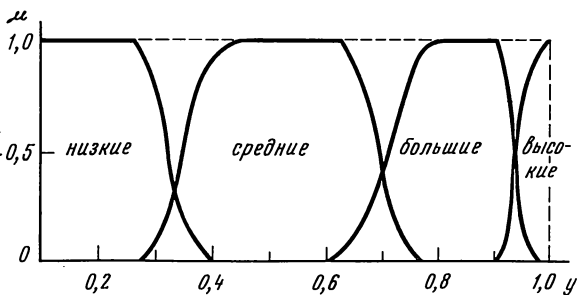
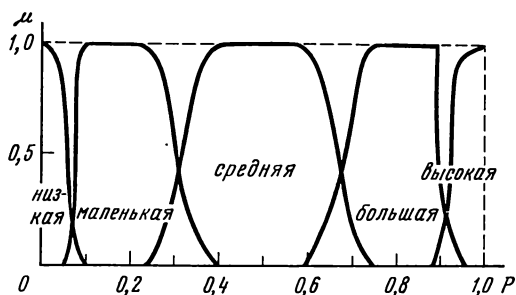


Рис. 13.  
Функции принадлежности  
для базовых термов линг-  
вистической переменной  
ВЕРОЯТНОСТЬ



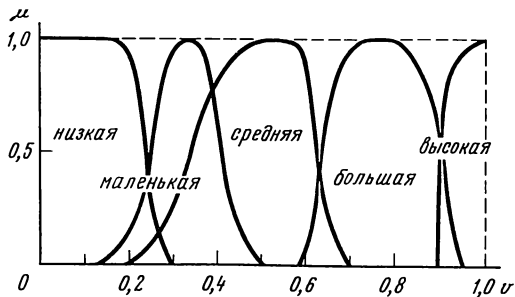


Рис. 14.  
Функции принадлежности  
для базовых термов линг-  
вистической переменной  
ПОЛЕЗНОСТЬ

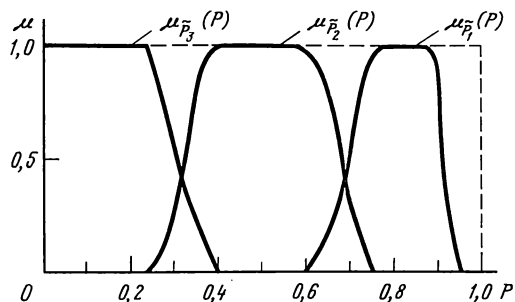


Рис. 15.  
Функции принадлежности  
лингвистических вероят-  
ностей  $P_i$

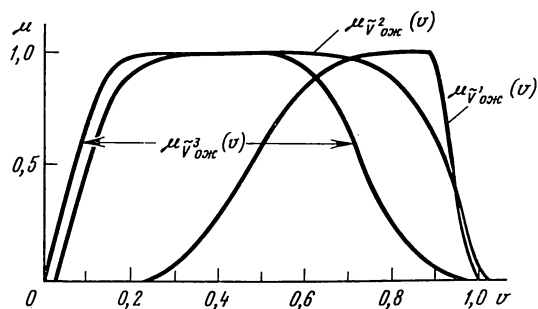


Рис. 16.  
Функции принадлежности  
ожидаемых полезностей  
стратегий

двух из указанных соотношений были назначены следующие вероятности:  $P_1$  — БОЛЬШАЯ,  $P_2$  — СРЕДНЯЯ. С целью восстановления лингвистической вероятности  $P_3$  соотношения  $Z_3$  использовался алгоритм формирования  $L$ -лотереи [63]. Построенная на основе данного алгоритма функция принадлежности  $\mu_{P_3}(p)$  представлена на рис. 15. Соответственно получено  $P_3$  — МАЛЕНЬКАЯ ( $\gamma = 0,86$ , где  $\gamma$  — степень истинности лингвистической аппроксимации [66]).

При определении лингвистических вероятностей  $P_{ji}^1$  исхода  $C_i$  использовались эвристические правила  $\mathcal{E}_1$  —  $\mathcal{E}_7$  (см. табл. 5), сформулированные в словесной форме л. п. р. Полученные в соответствии с этими эвристиками вероятности уничтожения группи-

Лингвистические вероятности исхода  $C_1$

Э	Значения факторов				Вероятность		
	$K_1$	$K_2$ для $x_1$	$K_2$ для $x_3$	$K_3$	$D_1$	$D_2$	$D_3$
Э <sub>1</sub>	ЗНАЧИТЕЛЬНО БОЛЬШЕ	ВЫСОКАЯ ХОРОШАЯ УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНАЯ	ВЫСОКАЯ ХОРОШАЯ УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНАЯ	ОТЛИЧНОЕ	ВЫСОКАЯ	БОЛЬШАЯ	СРЕДНЯЯ
Э <sub>2</sub>	НЕЗНАЧИТЕЛЬНО БОЛЬШЕ	ВЫСОКАЯ ХОРОШАЯ УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНАЯ	ВЫСОКАЯ ХОРОШАЯ УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНАЯ	ОТЛИЧНОЕ	БОЛЬШАЯ	СРЕДНЯЯ	МАЛЕНЬКАЯ
Э <sub>3</sub>	ПРИМЕРНО РАВНЫ	ВЫСОКАЯ ХОРОШАЯ	ХОРОШАЯ УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНАЯ	ОТЛИЧНОЕ	ВЫСОКАЯ	БОЛЬШАЯ	БОЛЬШАЯ
Э <sub>4</sub>	ПРИМЕРНО РАВНЫ	ХОРОШАЯ УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНАЯ	ВЫСОКАЯ ХОРОШАЯ	ОТЛИЧНОЕ	СРЕДНЯЯ	МАЛЕНЬКАЯ	НЕ МАЛЕНЬКАЯ И НЕ СРЕДНЯЯ
Э <sub>5</sub>	ПРИМЕРНО РАВНЫ	ВЫСОКАЯ ХОРОШАЯ УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНАЯ	ВЫСОКАЯ ХОРОШАЯ УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНАЯ	СРЕДНЕЕ	СРЕДНЯЯ	СРЕДНЯЯ	СРЕДНЯЯ
Э <sub>6</sub>	ПРИМЕРНО РАВНЫ	ВЫСОКАЯ ХОРОШАЯ УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНАЯ	ВЫСОКАЯ ХОРОШАЯ УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНАЯ	ПЛОХОЕ	СРЕДНЯЯ	МАЛЕНЬКАЯ	НИЗКАЯ
Э <sub>7</sub>	НЕЗНАЧИТЕЛЬНО МЕНЬШЕ	ВЫСОКАЯ ХОРОШАЯ УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНАЯ	ВЫСОКАЯ ХОРОШАЯ УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНАЯ	ОТЛИЧНОЕ	СРЕДНЯЯ	СРЕДНЯЯ	МАЛЕНЬКАЯ

Таблица 6

## Лингвистические значения вероятностей

$D_j$	$Z_i$	$C_k$	$P_{ji}^k$	$F_{ji}^1$	$F_{ji}^3$	$V_{ji}^k$
$D_1$	НЕЗНАЧИТЕЛЬНО БОЛЬШЕ	$C_1$	БОЛЬШАЯ	СРЕДНИЕ	ВЫСОКИЕ	ОЧЕНЬ БОЛЬШАЯ
		$C_2$	МАЛЕНЬКАЯ	ВЫСОКИЕ	ВЫСОКИЕ	НЕ НИЗКАЯ И НЕ МАЛЕНЬКАЯ
	ПРИМЕРНО РАВНЫ	$C_1$	СРЕДНЯЯ	СРЕДНИЕ	ВЫСОКИЕ	ОЧЕНЬ БОЛЬШАЯ
		$C_2$	СРЕДНЯЯ	ВЫСОКИЕ	ВЫСОКИЕ	НЕ НИЗКАЯ И НЕ БОЛЬШАЯ
	НЕЗНАЧИТЕЛЬНО МЕНЬШЕ	$C_1$	СРЕДНЯЯ	БОЛЬШИЕ	ВЫСОКИЕ	БОЛЬШАЯ
		$C_2$	СРЕДНЯЯ	ВЫСОКИЕ	ВЫСОКИЕ	НЕ НИЗКАЯ И НЕ МАЛЕНЬКАЯ
$D_2$	НЕЗНАЧИТЕЛЬНО БОЛЬШЕ	$C_1$	СРЕДНЯЯ	БОЛЬШИЕ	БОЛЬШИЕ	СРЕДНЯЯ
		$C_2$	СРЕДНЯЯ	ВЫСОКИЕ	СРЕДНИЕ	НИЗКАЯ
	ПРИМЕРНО РАВНЫ	$C_1$	БОЛЬШАЯ	СРЕДНИЕ		СРЕДНЯЯ
		$C_2$	МАЛЕНЬКАЯ	ВЫСОКИЕ НЕ ОЧЕНЬ ВЫСОКИЕ	СРЕДНИЕ	НИЗКАЯ
	НЕЗНАЧИТЕЛЬНО МЕНЬШЕ	$C_1$	БОЛЬШАЯ	НЕ ОЧЕНЬ ВЫСОКИЕ	БОЛЬШИЕ	СРЕДНЯЯ
		$C_2$	МАЛЕНЬКАЯ	ОЧЕНЬ ВЫСОКИЕ	СРЕДНИЕ	НИЗКАЯ
$D_3$	НЕЗНАЧИТЕЛЬНО БОЛЬШЕ	$C_1$	НЕ СРЕДНЯЯ И НЕ БОЛЬШАЯ	БОЛЬШИЕ	НИЗКИЕ	МАЛЕНЬКАЯ
		$C_2$	НЕ МАЛЕНЬКАЯ И НЕ СРЕДНЯЯ	ВЫСОКИЕ	НИЗКИЕ	НИЗКАЯ
	ПРИМЕРНО РАВНЫ	$C_1$	НЕ МАЛЕНЬКАЯ И НЕ СРЕДНЯЯ	БОЛЬШИЕ	НИЗКИЕ	МАЛЕНЬКАЯ
		$C_2$	НЕ СРЕДНЯЯ И НЕ БОЛЬШАЯ	ВЫСОКИЕ	НИЗКИЕ	НИЗКАЯ
	НЕЗНАЧИТЕЛЬНО МЕНЬШЕ	$C_1$	МАЛЕНЬКАЯ	ВЫСОКИЕ	НИЗКИЕ	МАЛЕНЬКАЯ
		$C_2$	БОЛЬШАЯ	ОЧЕНЬ ВЫСОКИЕ	НИЗКИЕ	ОЧЕНЬ НИЗКАЯ

ровки  $x_2$  для каждой из стратегий при некоторых (следующих из этих эвристик) значениях факторов  $K_1, \dots, K_4$  приведены в табл. 5. Так, согласно Э<sub>4</sub> были найдены:  $P_{12}^1$  — СРЕДНЯЯ,  $P_{22}^1$  — МАЛЕНЬКАЯ,  $P_{32}^1$  — НЕ МАЛЕНЬКАЯ И НЕ СРЕДНЯЯ. Функции принадлежности лингвистических вероятностей  $P_{ji}^1, P_{j3}^1$  для каждой стратегии  $D_j$  восстанавливались с помощью процедуры интерполяции, изложенной в теоретической части данного параграфа. Соответствующие лингвистические значения вероятностей приведены в табл. 6.

Функции принадлежности лингвистических вероятностей  $P_{ji}^2$  исхода  $C_2$  определялись с учетом  $P_{ji}^1$  согласно выражению

$$\mu_{P_{ji}^2}(p_2) = \mu_{P_{ji}^1}(1 - p_2).$$

Соответствующие лингвистические значения вероятностей ( $\gamma = 1$ ) указаны в табл. 6.

Нечеткие полезности  $V_{ji}^k$  исхода  $C_k$  в случае реализации стратегии  $D_j$  при  $i$ -ом соотношении численностей восстанавливались с учетом возможных потерь атакующих объектов  $F_{ji}^1, F_{ji}^3$  сторон А и В на основе метода непосредственной оценки полезностей. Субъективные оценки  $F_{ji}^1, F_{ji}^3$  приведены в табл. 6.

Там же указаны лингвистические значения полезностей.

На основе полученных нечетких оценок  $P_{ji}^k, V_{ji}^k$  в соответствии с (3.3) определялись нечеткие ожидаемые полезности  $V_{ож}^{ji}$  стратегии  $D_j$  при  $i$ -м соотношении численностей. С учетом  $V_{ож}^{ji}$  и лингвистических вероятностей  $P_{ji}$  вычислялись нечеткие ожидаемые полезности  $V_{ож}^i$  стратегий  $D_j$ . Функции принадлежности  $\mu_{V_{ож}^i}(v)$ ,  $\mu_{V_{ож}^2}(v)$ ,  $\mu_{V_{ож}^3}(v)$ , построенные в соответствии с формулой (3.4), представлены на рис. 16. Соответственно получены:  $V_{ож}^1$  — БОЛЬШАЯ ( $\gamma = 0,82$ ),  $V_{ож}^2$  — НЕ ОЧЕНЬ ВЫСОКАЯ ( $\gamma = 0,94$ ),  $V_{ож}^3$  — НЕ ВЫСОКАЯ ( $\gamma = 0,88$ ). В качестве порога различимости в (3.6) фиксировалось  $\delta = 0,1$ . Согласно (3.5), построено нечеткое множество  $\tilde{D}_0 = \{1, 0 D_1; 0, 93 D_2; 0,78 D_3\}$ . В соответствии с  $\tilde{D}_0$  наиболее предпочтительной со степенью уверенности 1,0 является стратегия  $D_1$ .

### 3.1.2. Обоснование решений

#### с помощью методов теории возможностей

Покажем решение задачи для случая, когда в роли атакующей выступает сторона А, имеющая только активные средства  $x_1$ . При этом дерево решений имеет вид, представленный на рис. 17.

Предположим, что л. п. р. имеет представление о том, какие по численности группы атакующих объектов  $x_1$  стороны А способны полностью уничтожить группы атакующих объектов  $x_3$  стороны В; предполагается известным и решение обратной задачи (какие группы  $x_3$  могут уничтожить группы  $x_1$ ). Нечеткое представление л. п. р. о «способностях» групп типа  $x_1$  можно формализовать с помощью уровневых ограничений  $X^* = f^*(x_3)$  и  $X_1^0 = f^0(x_3)$ , представленных на рис. 18. (уровневые ограничения на рисунке по-

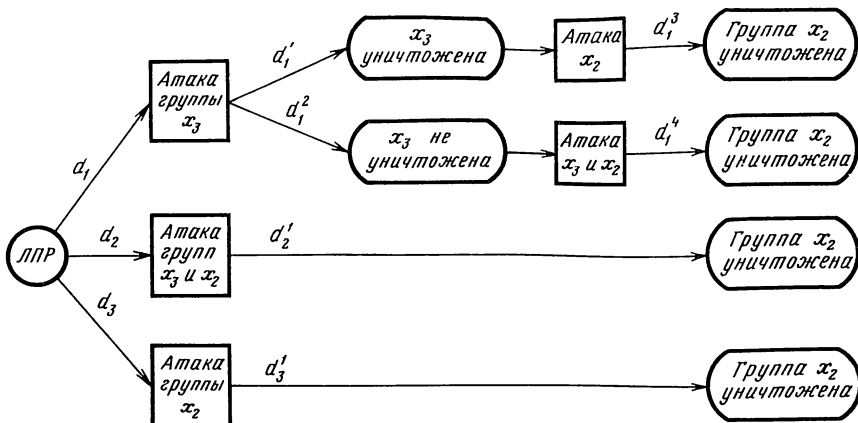


Рис. 17. Возможные решения в групповом конфликте.

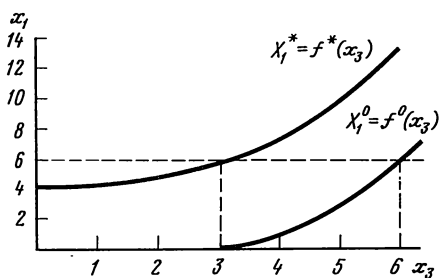


Рис. 18. Уровневые ограничения  $X_1^* = f^*(x_3)$  и  $X_1^0 = f^0(x_3)$

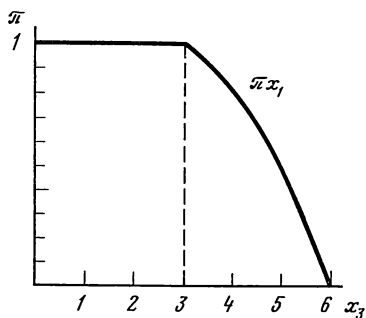


Рис. 19. Распределение возможностей  $\pi_{x_1}$

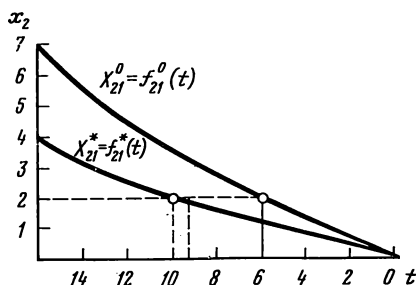


Рис. 20. Условные уровневые ограничения  $X_{21}^0 = f_{21}^0(t)$  и  $X_{21}^* = f_{21}^*(t)$

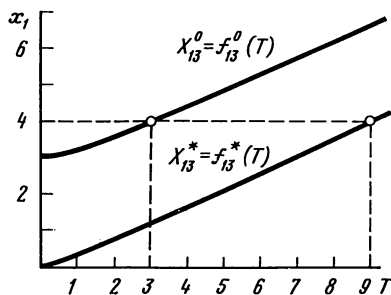


Рис. 21. Условные уровневые ограничения  $X_{12}^0 = f_{12}^0(T)$  и  $X_{12}^* = f_{12}^*(T)$



казаны в виде непрерывных функций только с целью наглядности). Из анализа уровневых ограничений следует, что гарантированное уничтожение группы  $x_3$ , состоящей из 5 единиц, достигается при  $x_1 \geq 10$ . Если же  $x_1 = 3$ , то уничтожение указанной группы невозможно. Имея зависимости  $X_1^* = f^*(x_3)$  и  $X_1^0 = f^0(x_3)$ , можно построить распределение возможностей для группы  $x_1$ , состоящей из заданного количества единиц. На рис. 19 приведено распределение возможностей  $\pi_{x_1}$  для случая  $x_1 = 6$ , на основе которого можно оценить эффективность последовательной атаки объектов стороны  $B$  (ветвь  $\alpha_1$  дерева решений). Если  $x_1 = 6$  и  $x_3 = 4$ , то этим исходным данным соответствуют следующие значения возможностей исходов по ветви  $\alpha_1$  дерева решений:  $\pi_{x_1} = 0,8$  и  $\pi_{x_1} = 1 - \pi_{x_1} = 0,2$ .

Возможности последующих исходов ветви  $\alpha_1$  дерева решений зависят от соотношения объектов  $x_1$  стороны  $A$  и объектов  $x_2$  стороны  $B$ , количества оставшихся объектов  $x_3$  стороны  $B$  и времени конфликта. Рассмотрим исход  $\alpha_1^1$ , т. е. исход, когда группа  $x_3$  полностью уничтожена. В этом случае эффективность уничтожения объектов  $x_2$  (исход  $\alpha_1^3$ ) будет определяться первым и третьим из названных факторов. Для количественной оценки  $\alpha_1^3$  предположим существование условных (от величины  $x_1$ ) уровневых ограничений  $X_{21}^0 = f_{21}^0(t)$  и  $X_{21}^* = f_{21}^*(t)$ , представленных на рис. 20, где  $t$  — время до конца конфликта. Из анализа рис. 20 следует, что два объекта группировки  $x_2$  гарантированно уничтожаются при  $t \geq 10$  условных единиц; если же  $t \leq 6$  условных единиц, то нет возможности уничтожить указанную группировку (заметим, что уровневые ограничения построены для  $x_1 = 2$ ). Указанный вывод предполагает прогнозирование времени окончания фазы уничтожения группировки  $x_3$  (времени до конца конфликта). Если принять  $t = 9,5$ , то для данного примера  $\pi_{x_2} = 0,9$ , что и представляет собой оценку исхода  $\alpha_1^3$ .

Рассмотрим количественную оценку исхода  $\alpha_1^1$  (третья ветвь дерева решений). В данном случае возможность решения задачи группировкой  $x_1$  определяется всеми упомянутыми выше факторами. Потери в группировке  $x_2$  (под воздействием  $x_1$ ) и в группе  $x_1$  (под воздействием  $x_3$ ) позволяют построить соответствующие распределения возможностей. Условные уровневые ограничения  $X_{13}^0 = f_{13}^0(T)$  и  $X_{13}^* = f_{13}^*(T)$ , инициирующие при фиксированном  $x_1$  распределение возможностей атаки для объектов группировки  $x_3(\pi_{x_3})$ , представлены на рис. 21, где  $T$  — время конфликта. Уровневые ограничения  $X_{21}^0 = f_{21}^0(T)$  и  $X_{21}^* = f_{21}^*(T)$ , инициирующие при заданном количестве объектов группировки  $x_2$  распределение возможностей атаки для объектов группировки  $x_1(\pi_{x_1})$ , представлены на рис. 22. Следуя § 1.4, возможность уничтожения группировки  $x_2$  можно определить на основе следующего выражения:

$$\pi_{x_2} = \tilde{\pi}_{x_1} - \tilde{\pi}_{x_3} / \tilde{\pi}_1,$$

$$\text{где } \tilde{\pi}_{x_1} = \int_0^T \pi_{x_1}(t) dt, \quad \tilde{\pi}_{x_3} = \int_0^T \pi_{x_3}(t) dt,$$

$\tilde{\pi}_1 = \int_0^{\gamma} \pi_{\alpha=1}(t) dt$ ,  $\pi_{\alpha=1}$  — распределение уровня  $\alpha=1$  в отрезке  $[0, \gamma]$ .

Предел  $\gamma$  определяется из следующих соображений. Обозначим через  $t^{x_1}$  и  $t^{x_3}$  точки на осях времени, где  $\pi_{x_1} = 1$  и  $\pi_{x_3} = 1$  соответственно. Тогда

$$\gamma = \begin{cases} t_n, & \text{если } t_n < t^{x_1}, t_n < t^{x_3}; \\ t^{x_3}, & \text{если } t_n > t^{x_3}. \end{cases}$$

Анализируя (3.7), можно отметить, что в качестве множества элементов, определяющих возможность события  $Q$ , следует выбрать все точки, принадлежащие прямоугольнику с основанием  $[0, \gamma]$  и высотой  $\pi = 1$  (рис. 23). Причем точки, расположенные под функцией  $\pi_{x_1}(T)$ , благоприятствуют событию  $Q$  (уничтожению группировки  $x_2$ ), а точки, расположенные под функцией  $\pi_{x_3}(T)$ , препятствуют событию  $Q$ . В результате проведенных расчетов  $\alpha_3^0 = 0,08$ .

Используя аналогичную методику, можно количественно оценить остальные исходы дерева решений. Для примера, рассмотренного в [49],  $\alpha^4 = 0,18$  и  $\alpha_2^1 = 0,4$ .

После получения количественных результатов, определяющих возможность уничтожения группировки  $x_2$ , можно выбрать наиболее предпочтительное решение с помощью операций, которые рассматривались в § 1.4. Если л. п. р. стремится выбрать самую осторожную тактику, то этому соответствует операция (1.14), характеризующая свертку возможностей в «жестком» смысле. При таком подходе имеют место следующие количественные оценки:

$$\pi_{\alpha_1}^{\Sigma} = (0,8 \wedge 0,9) \wedge (0,2 \wedge 0,18) = 0,8 \wedge 0,18 = 0,18;$$

$$\pi_{\alpha_2}^{\Sigma} = 0,4; \quad \pi_{\alpha_3}^{\Sigma} = 0,08.$$

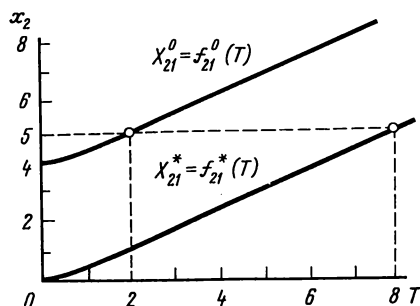


Рис. 22. Условные уровневые ограничения  $X_{21}^0 = f_{21}^0(T)$  и  $X_{21}^* = f_{21}^*(T)$

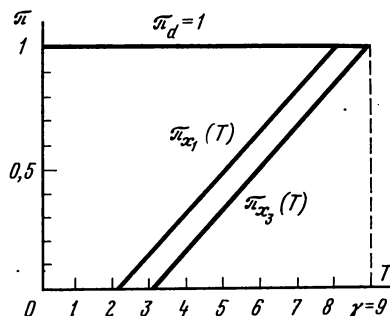


Рис. 23. Определение возможности уничтожения группировки  $x_2$

Если л. п. р. считает, что нельзя пренебречь большой возможностью исхода  $\alpha_1'$ , то в этом случае используется операция (1.16)

$$\pi_{\alpha_1}^{\Sigma} = 0,8 \cdot 0,9 + 0,2 \cdot 0,18 = 0,756.$$

На основании проведенных расчетов решения ранжируются следующим образом:  $\alpha_2 > \alpha_1 > \alpha_3$  в первом случае и  $\alpha_1 > \alpha_2 > \alpha_3$  во втором случае.

Таким образом, модель, основанная на формализме нечетких множеств, позволяет выбрать обоснованное решение в реальных ситуациях конфликта.

Если атакующая группировка  $x_1$  стороны  $A$  имеет количественный перевес над атакующей группировкой  $x_3$  стороны  $B$  и время конфликта оказывается достаточно большим, то л. п. р. целесообразно выбрать альтернативу  $\alpha_1$ . Если же количественного перевеса группировка  $x_1$  не имеет, то более выгодным может оказаться второе альтернативное решение  $\alpha_2$ . Аналогичное решение целесообразно и в случае ограниченной информации о составе группировок стороны  $B$ . Что касается варианта  $\alpha_3$ , т. е. наименее выгодного альтернативного решения (с точки зрения собственных потерь), то оно может выбираться в исключительных случаях (например, при дефиците времени).

### 3.2. Управление динамическим объектом как процедура многокритериальной оптимизации

Современные методы исследования операций призваны повышать качество принимаемых решений и находить оптимальные решения. Однако эти методы имеют серьезный недостаток — они основаны на предположении, что оценка качества и оптимизация решений проводится по одному скалярному критерию. Такой подход к оценке эффективности и оптимизации решений принято называть скалярным или однокритериальным, а соответствующие ему задачи — скалярными задачами оптимизации решений.

В действительности большинство практических задач принятия решений, включая задачу управления динамическим объектом, имеют не один, а несколько противоречивых критериев эффективности, и решение, оптимальное по одному из критериев, оказывается неудовлетворительным по другим критериям. Другими словами, большинство практических задач являются многокритериальными (векторными) по своему существу и требуют для своего решения специфических методов и подходов [65].

Рассмотрим модель многокритериальной оптимизации, основанную на формализме нечетких множеств [84].

Пусть самолет (динамический объект), находящийся на высоте  $H$  и имеющий скорость  $V$ , обладает рядом характеристик, зависящих от  $H$  и  $V$ . Такими характеристиками могут быть: энергия ( $x_1$ ), ускорение разгона ( $x_2$ ), ускорение торможения ( $x_3$ ), угловая скорость разворота ( $x_4$ ), расход энергии на угол разворота ( $x_5$ ) и т. д. Для упрощения задачи ограничимся только пятью пере-

численными параметрами (локальными критериями). Известно также, что для наилучшего выполнения цели полета (например, для выполнения сложной пространственной фигуры) необходимо увеличить критерии  $x_1, \dots, x_4$  и уменьшить  $x_5$ , т. е. задача предполагает удовлетворение противоречивых требований. При такой постановке задача сводится к определению в плоскости  $H \times V$  области, наилучшим образом удовлетворяющей разноречивым требованиям локальных критериев  $x_1, \dots, x_5$ , что равносильно решению задачи оптимизации по векторному критерию  $X = (x_1, \dots, x_5)$ .

Воспользуемся для решения поставленной задачи способом, основанным на понятиях и положениях информационного поля [31].

Предположим, что некоторая цель (например, цель, которая сформулирована выше) будет достигнута (может быть достигнута) при выборе некоторого параметра (локального критерия), характеризующего состояние объекта, т. е. при  $x = x_u$ . Введем в рассмотрение «функцию достижения цели» (вероятность достижения)  $p = f(x)$ , характеризующую степень достижения поставленной цели в зависимости от значения параметра  $x$ . Возможный вид функции достижения цели показан на рис. 24. Если  $x_u = 0$ , то основные свойства этой функции определяются следующим образом:

1.  $p = f(x) \in [0, 1]$ ;
2.  $f(x) = f(-x)$ ;
3.  $f(x_2) > f(x_1)$  при  $x_2 > x_1$  для  $x \geq 0$ ;
4.  $f(x_2) < f(x_1)$  при  $x_2 < x_1$  для  $x < 0$ ;
5.  $p = f(x) \rightarrow 1$  при  $x \rightarrow 0$  и  $p = f(x) \rightarrow 0$  при  $x \rightarrow \infty$ .

Если на прямой  $[0, x]$  известно, что цель будет достигаться при  $x \rightarrow \infty$ , т. е.  $p = f(x) \rightarrow 1$  при  $x \rightarrow \infty$ , то функция достижения цели может быть определена в виде, показанном на рис. 25.

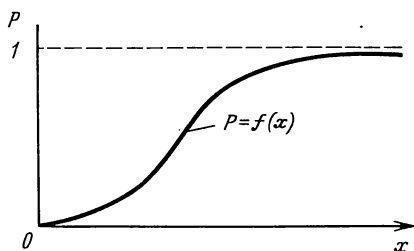
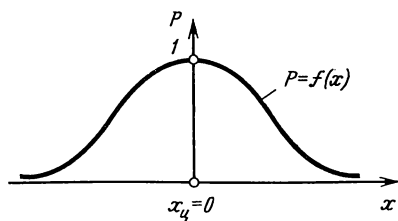


Рис. 24. Функция достижения цели

Рис. 25. Функция достижения цели

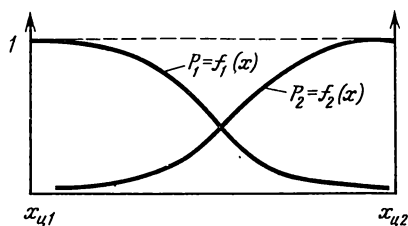


Рис. 26. Случай двух функций достижения цели

Величину, равную  $C = \log p$ , будем называть «смысловым содержанием» ситуации, определяемой связью параметра  $x$ , задавшего эту ситуацию, со значением функции достижения цели.

Величину  $\Pi = dC/dx$  будем называть «логической связью».

Из данных определений следует, что смысловое содержание  $C$  показывает относительную целесообразность выбора того или иного значения  $x$ , а логическая связь показывает целесообразность изменения  $x$  и степень такой целесообразности. В случае выбора ситуации  $x = x_{\Pi}$  смысловое содержание достигает максимума, т. е.

$$C_0 = C_{\max} = 0,$$

а в противоположной точке (точке, бесконечно удаленной от цели)

$$C_{\infty} = C_{\min} = -\infty.$$

Если на выбор параметра  $x$  влияет несколько целей, то это равносильно существованию на прямой  $[0, x]$  нескольких функций достижимости

$$p_1 = f_1(x), p_2 = f_2(x), \dots, p_n = f_n(x).$$

Случай двух функций достижения цели представлен на рис. 26. Для каждой целевой ситуации в этом случае смысловое содержание и логическая связь могут быть определены следующим образом:

$$C_1 = \log p_1, C_2 = \log p_2, \dots, C_n = \log p_n;$$

$$\Pi_1 = dC_1/dx, \Pi_2 = dC_2/dx, \dots, \Pi_n = dC_n/dx.$$

Если общая целевая ситуация объединяет множество частных целевых ситуаций, то смысловое содержание в этом случае определяется как

$$C_{\Sigma} = C_1 + C_2 + \dots + C_n,$$

а логическая связь —

$$\Pi_{\Sigma} = \Pi_1 + \Pi_2 + \dots + \Pi_n.$$

В случае множества параметров  $x_1, x_2, \dots, x_n$  введенные понятия сохраняют свой смысл с учетом того, что функция достижения цели при независимых параметрах определяется как  $P = p_1 \cdot p_2 \cdot p_3 \dots p_n$ , а логическая связь  $\bar{\Pi}$  — как градиент смыслового содержания, т. е.  $\bar{\Pi} = \text{grad } C$ .

Приведем без вывода необходимые условия существования оптимального положения и оптимальной траектории в многокритериальном пространстве [84].

Область выгодного положения динамического объекта (самолета) в пространстве  $X$  определяется максимальным значением вероятности успешного выполнения сложного маневра  $P_{\Sigma}$ ; которая при выполнении гипотезы о независимости событий представляет собой произведение вероятностей достижения элементарных целей, т. е.  $P_{\Sigma} = p_E p_{\Delta} p_{\omega} p_z$ , где  $p_E$  — функция достижения энергетического

уровня,  $p_\Delta$  — функция достижения характеристик разгона (торможения) динамического объекта,  $p_\omega$  — функция достижения угловой скорости разворота,  $p_z$  — функция достижения, характеризующая расход энергии на угол разворота. Указанные вероятности достижения элементарных целей, отражающие мнения экспертов, представлены на рис. 27. Анализ этих зависимостей показывает, что для достижения желаемых целей необходимо по возможности увеличивать показатели  $\Delta x$  — диапазон продольных ускорений,  $E$  — энергию,  $\omega$  — угловую скорость разворота динамического объекта и уменьшать показатель  $Z$ , характеризующий расход энергии на угол разворота того же объекта. Для аппроксимации зависимостей, представленных на рис. 31, можно воспользоваться функциями вида  $2^{-x}$ . Например, качественные зависимости  $p_E$ ,  $p_\Delta$ ,  $p_\omega$  могут аппроксимироваться функцией

$$p = 2^{-k \left( \frac{x^* - x}{x^* - x^0} \right)^3},$$

а зависимость  $p_z$  — функцией

$$p = 2^{-k \left( \frac{x - x^0}{x^* - x^0} \right)^3},$$

где  $x^*$ ,  $x^0$  — максимальные и минимальные показатели качества динамического объекта,  $k$  — постоянная величина.

При других зависимостях  $p_\Delta$ ,  $p_E$ ,  $p_\omega$ ,  $p_z$ , естественно, изменятся размеры области выгодного положения в пространстве  $X$  и кру-

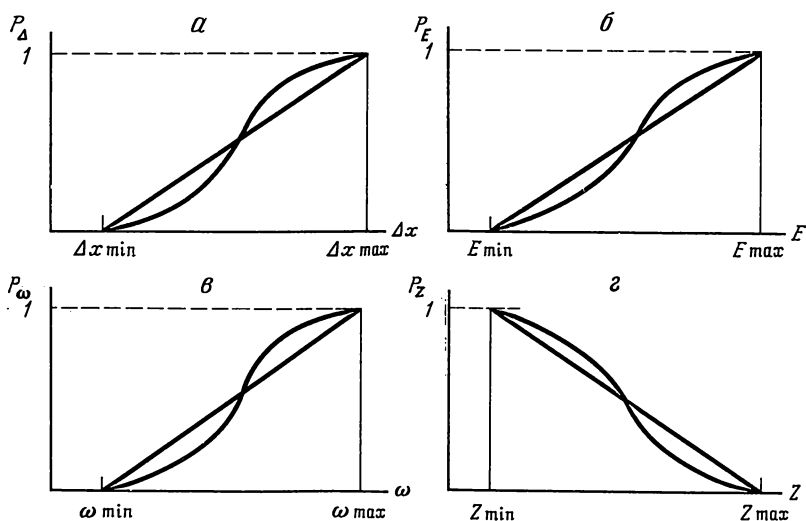


Рис. 27. Вероятности достижения элементарных целей:

а) функция разгона (торможения); б) функция энергии; в) функция угловой скорости разворота; г) функция расхода энергии на угол разворота

тизна ее «склонов», а также сместится центр этой области (точка максимума  $P_{\Sigma}$ ).

Что касается оптимальной траектории движения динамического объекта в область выгодного положения, о которой говорилось выше, то здесь нужно иметь в виду следующее. Точка, в которой сумма логических связей (суммарная логическая связь), определяющих изменение параметра  $X$ , будет равна нулю, является оптимальной точкой. Оптимальной траекторией движения в пространстве  $X$  является траектория, описываемая уравнением:

$$d\bar{r}/dt = \bar{L}_{\Sigma},$$

где  $\bar{r}$  — радиус-вектор, характеризующий положение точки в пространстве;  $d\bar{r}$  — дифференциал искомой траектории;  $\bar{L}_{\Sigma}$  — вектор логической связи, определяющий целесообразность смещения в пространстве  $X$ ;  $t$  — параметр.

Последовательность решения поставленной задачи может быть следующей.

1. Определяются функции достижения элементарных целей  $p_E, p_{\Delta}, p_{\omega},$  и  $p_z$ .

2. Для зависимостей  $p_i = f(x_i)$  определяется суммарное смысловое содержание  $C_{\Sigma} = \log p_E p_{\Delta} p_{\omega} p_z$ .

3. Осуществляется переход к области задания параметров  $H$  и  $V$ ; суммарное смысловое содержание приводится к виду

$$C_{\Sigma} = C_1(H, V) + \dots + C_4(H, V).$$

4. Определяются координаты оптимальной точки в пространстве  $H \times V$  с помощью уравнений баланса логических связей по ортам координатной системы  $H, V$ :

$$\sum_{i=1}^{n=4} \Lambda_i^H = 0, \quad \left| \Rightarrow \begin{aligned} dC/dH &= 0, \\ dC/dV &= 0. \end{aligned} \right.$$

$$\sum_{i=1}^{n=4} \Lambda_i^V = 0,$$

Слагаемые в суммах соответствуют изменению степени достижения по отдельным параметрам в результате изменения  $H$  и  $V$ , т. е.

$$\bar{L}_i = \bar{L}_i(H, V) \text{ и } \bar{L} = L_i^H + L_i^V.$$

5. Уравнение оптимального движения из точки  $(H^*, V^*)$  в точку  $(H, V)$  орт имеет следующий вид:

$$\frac{d\bar{r}}{dt} = \bar{L}_{\Sigma} = \begin{cases} \frac{dH}{dt} = \Sigma \Lambda_i^H \\ \frac{dV}{dt} = \Sigma \Lambda_i^V. \end{cases}$$

Основная особенность предложенного подхода заключается в следующем. Если существующие методики решения задач век-

торной оптимизации, как правило, заканчиваются поиском и построением области компромисса (области Парето), то данный подход позволяет определить оптимальную точку в пространстве параметров, а также, что еще более важно, уравнение оптимального движения в эту точку.

### 3.3. Задача оптимального распределения объектов в конфликтной ситуации

Пусть динамика изменения сил противоборствующих сторон  $A$  и  $B$  описывается системой уравнений, которая несколько отличается от системы (3.1):

$$\dot{x}_1 = -k_{31}x_3, \quad \dot{x}_2 = -k_{12}x_1', \quad \dot{x}_3 = -k_{13}x_1'', \quad (3.8)$$

где  $k_{12}$ ,  $k_{13}$  — математические ожидания числа объектов группировок  $x_2$  и  $x_3$  стороны  $B$ , уничтожаемых в единицу времени одним атакующим объектом группировки  $x_1$  стороны  $A$ ;  $k_{31}$  — математическое ожидание числа объектов группировки  $x_1$ , уничтожаемых в единицу времени одним объектом группировки  $x_3$ ;  $x_1'$  и  $x_1''$  — части сил атакующей группировки, выделенные для атаки группировок  $x_2$  и  $x_3$ .

Введя управление  $u$ , изменяющееся в интервале  $[0,1]$ , приведем систему уравнений (3.8) к следующему виду:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= -k_{31}x_3, & \dot{x}_2 &= -k_{12}x_1/2 (1+u), \\ \dot{x}_3 &= -k_{13}x_1/2 (1-u). \end{aligned} \quad (3.9)$$

Начальные условия, необходимые для решения системы (3.9), заданы:  $x_1(0) = x_{10}$ ,  $x_2(0) = x_{20}$ ,  $x_3(0) = x_{30}$ .

Из постановки задачи следует, что после обнаружения противника л. п. р., располагая значениями  $x_{10}$ ,  $x_{20}$ ,  $x_{30}$ ,  $k_{12}$ ,  $k_{13}$ ,  $k_{31}$ , решает вопрос о программе поведения, в максимальной степени обеспечивающей достижения целей, которые ставит перед собой атакующая сторона  $A$ . В предыдущем параграфе показано, что степень приближения к цели, формулируемая в качественной форме, может оцениваться вероятностью достижения цели (функцией достижения цели). В рассматриваемой задаче достижение цели связано с нанесением потерь противнику  $\Delta x_2$  и сохранением собственных сил  $\Delta x_1$ . Следовательно, процесс принятия решения л. п. р. начинается с анализа зависимости вероятности достижения цели от названных выше потерь.

Пусть цели  $\Pi_1$  (сохранить собственные силы) и  $\Pi_2$  (нанести удар противнику) независимы. В этом случае вероятность достижения сложной цели (достижение цели конфликта) определяется как произведение вероятностей  $p_1$  и  $p_2$  достижения частных (локальных) целей, т. е.

$$P_{\Sigma} = p_1 \cdot p_2.$$

Результаты оценки зависимостей  $p_1 = f(\Delta x_1)$  и  $p_2 = f(\Delta x_2)$  приведены на рис. 28. Прибегая к аппроксимации полученных



зависимостей функцией вида  $2^{-x}$ , получим

$$p_1(\Delta x_1) = 2^{\frac{k(x_{10} - x_1)}{|x_2^1 - x_1^0|}};$$

$$p_2(\Delta x_2) = 2^{-k \left( \frac{x_2 - x_{20}}{|x_2^1 - x_2^0|} \right)},$$

где  $x_{10}, x_{20}$  — силы группировок в начале конфликта;  $x_1, x_2$  — численности группировок в процессе конфликта;  $x_1^1, x_1^0$  ( $x_2^1, x_2^0$ ) — значения численностей атакующей и обороняемой группировок, при которых цели  $\Pi_1$  и  $\Pi_2$  будут выполнены с вероятностями 1 и 0.

Используя методику, изложенную в предыдущем параграфе, и приняв  $x_1^1 = x_{10}, x_2^1 = x_{20}$ , получим

$$C_e = \log p_\Sigma = - \left( k \frac{x_1^1 - x_1}{|x_1^1 - x_1^0|} \right) - \left( k \frac{x_2 - x_2^1}{|x_2^1 - x_2^0|} \right) \Rightarrow \max \quad (3.10)$$

Введя обозначения,

$$\lambda'_1 = kx_1^1/x_1^0 - x_1^1, \quad \lambda'_2 = kx_2^1/x_2^1 - x_2^0,$$

$$\lambda''_1 = k/x_1^0 - x_1^1, \quad \lambda''_2 = k/x_2^1 - x_2^0,$$

приведем уравнение (3.10) к виду

$$C_\Sigma = \lambda''_1 x_1 - \lambda''_2 x_2 + (\lambda'_2 - \lambda'_1) \Rightarrow \max. \quad (3.11)$$

Максимум (3.11) достигается при  $x_{1 \text{ opt}}$  и  $x_{2 \text{ opt}}$  независимо от величины  $(\lambda'_2 - \lambda'_1) = \text{const}$ , что равносильно следующему условию:

$$C_\Sigma = \lambda''_1 x_1 - \lambda''_2 x_2 \Rightarrow \max. \quad (3.12)$$

Условие (3.12) означает, что решение задачи конфликта, состоящей из выполнения локальных целей  $\Pi_1$  и  $\Pi_2$ , сводится к требованию максимизации взвешенной суммы.

После формирования целевого функционала поставленная за-

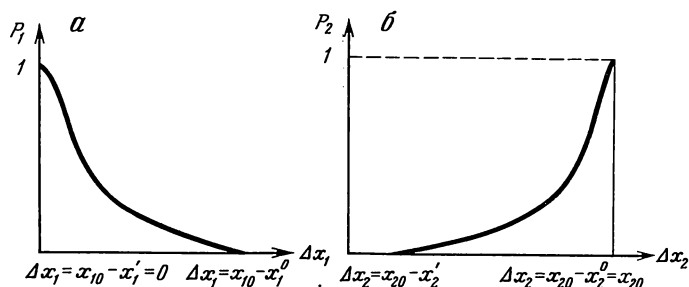


Рис. 28. Вероятности достижения целей:

а) сохранение собственных сил; б) уничтожение сил противника

дача может быть решена известными методами. Воспользуемся для ее решения принципом максимума Понтрягина [21]. Учитывая, что при применении этого метода в стандартной форме целевой функционал должен минимизироваться, представим условие (3.12) в виде

$$-C_2 = \lambda_2'' x_2 - \lambda_1'' x_1 = \lambda_2 x_2 - \lambda_1 x_1 \Rightarrow \min. \quad (3.13)$$

Составим функцию Гамильтона для системы уравнений (3.9):

$$\begin{aligned} H = & -\Psi_1 k_{31} x_3 - \Psi_2 k_{12} \frac{x_1}{2} (1 + u) - \\ & -\Psi_3 k_{13} \frac{x_1}{2} (1 - u) = -\Psi_1 k_{31} x_3 - \frac{x_1}{2} u (\Psi_2 k_{12} - k_{13} \Psi_3) - \\ & - \frac{x_1}{2} (\Psi_2 k_{12} + k_{13} \Psi_3). \end{aligned} \quad (3.14)$$

Дифференциальные уравнения для вспомогательных функций имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} \dot{\Psi}_1 = & -\frac{dH}{dx_1} = \frac{\Psi_2 k_{12}}{2} (1 + u) + \frac{\Psi_3 k_{13}}{2} (1 - u), \\ \dot{\Psi}_2 = & 0, \quad \Psi_3 = \dot{\Psi}_1 k_{31}. \end{aligned} \quad (3.15)$$

Запишем уравнение трансверсальности

$$[\delta G - H \delta t + \psi_1 \delta x_1 + \psi_2 \delta x_2 + \psi_3 \delta x_3]_0^T = 0,$$

где  $T$  — время окончания конфликта,  $G$  — целевой функционал (3.13),  $\delta$  — знак вариации.

Для данной задачи имеем

$$\delta G = \lambda_2 \delta x_2 - \lambda_1 \delta x_1,$$

откуда могут быть получены значения  $\psi_1$  и  $\psi_2$  на правом конце траектории (поскольку переменные  $x_1$  и  $x_2$  в момент  $T$  не фиксированы):

$$\begin{aligned} (\lambda_2 + \psi_{2T}) = 0 & \rightarrow \psi_{2T} = -\lambda_2, \\ (-\lambda_1 + \psi_{1T}) = 0 & \rightarrow \psi_{1T} = \lambda_1. \end{aligned} \quad (3.16)$$

По этой же причине  $\psi_{3T} = 0$ .

Учитывая первое условие (3.16), из второго уравнения (3.15) на всем интервале получим

$$\psi_2 = \text{const} = -\lambda_2. \quad (3.17)$$

Подставляя (3.17) в (3.14), получим следующее выражение для гамильтониана:

$$\begin{aligned} H = & -\psi_1 k_{31} x_3 - x_1 / 2 u (-\lambda_2 k_{12} - k_{13} \psi_3) - x_1 / 2 (-\lambda_2 k_{12} + \\ & + k_{13} \psi_3 \end{aligned} \quad (3.18)$$

Выражение (3.18) достигает максимума при

$$u = \begin{cases} +1, & \text{если } \Psi_3 > -\frac{\lambda_2 k_{12}}{k_{13}}, \\ -1, & \text{если } \Psi_3 < -\frac{\lambda_2 k_{12}}{k_{13}}. \end{cases} \quad (3.19)$$

Из условия  $\psi_{3T}=0$  получаем следующий вывод: конфликт заканчивается при  $u=+1$ , т. е. при атаке всеми (оставшимися к этому времени) атакующими объектами стороны  $A$  группировки  $x_2$  стороны  $B$  ( $\lambda_2, k_{12}, k_{13}$  положительны и выполняется первое условие (3.19)). Для получения момента переключения (момент  $\tau$ ) управления с  $u=-1$  на  $u=+1$ , т. е. выбора момента атаки группировки  $x_2$ , если первоначально была атакована группировка  $x_3$ , необходимо исследовать поведение вспомогательной функции  $\psi_3(t)$ . Для этого проинтегрируем систему (3.15) на интервале  $[\tau, T]$ , которая при  $u=+1$  будет иметь следующий вид:

$$\dot{\psi}_1 = -\lambda_2 k_{12}, \quad \dot{\psi}_3 = \psi_1 k_{31}. \quad (3.20)$$

Интегрируя первое уравнение (3.20), получим

$$\psi_1 = -\lambda_2 k_{12} t + C_1.$$

Для определения  $C_1$  воспользуемся вторым условием (3.16). Тогда

$$C_1 = \lambda_1 + \lambda_2 k_{12} T,$$

$$\psi_1 = -\lambda_2 k_{12} t + (\lambda_1 + \lambda_2 k_{12} T). \quad (3.21)$$

Подставляя (3.21) во второе уравнение (3.20), получим

$$\Psi_3 = -\frac{\lambda_2 k_{12} k_{31}}{2} t^2 + (\lambda_1 + \lambda_2 k_{12} T) t + C_2,$$

где  $C_2$  определяется из условия  $\psi_{3T}=0$ . Тогда окончательно уравнение для вспомогательной функции примет вид

$$\Psi_3 = -\frac{\lambda_2 k_{12} k_{31}}{2} t^2 + (\lambda_1 + \lambda_2 k_{12} T) t - k_{31} T \left( \lambda_1 + \frac{\lambda_2 k_{12} T}{2} \right).$$

Используя это уравнение и условие переключения в виде  $\psi_3(\tau) = -\lambda_2 k_{12}/k_{13}$ , выразим  $\tau$  через время  $T$ . В момент времени  $\tau$  выполняется равенство

$$-\frac{\lambda_2 k_{12} k_{31}}{2} \tau^2 + (\lambda_1 + \lambda_2 k_{12} T) \tau - k_{31} T \left( \lambda_1 + \frac{\lambda_2 k_{12} T}{2} \right) = -\frac{\lambda_2 k_{12}}{k_{13}}$$

Решая последнее уравнение, найдем

$$\tau_{1,2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 k_{12}} + T \pm \sqrt{\frac{\lambda_1^2}{\lambda_2^2 k_{12}^2} + \frac{2}{k_{13} k_{31}}}.$$

Время переключения  $\tau$  должно удовлетворять неравенству  $\tau < T$ . Тогда

$$\tau = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 k_{12}} + T - \sqrt{\frac{\lambda_1^2}{\lambda_2^2 k_{12}^2} + \frac{2}{k_{13} k_{31}}}.$$

Поскольку  $k_{13} k_{31} > 0$ , то следует иметь в виду существование следующего неравенства:

$$\sqrt{\frac{\lambda_1^2}{\lambda_2^2 k_{12}^2} + \frac{2}{k_{13} k_{31}}} - \frac{\lambda_1}{\lambda_2 k_{12}} > 0.$$

Условие существования режима  $u = -1$  (режим атаки группировки  $x_3$ ) определяется как условие  $\tau > 0$ , что возможно только при

$$T > \sqrt{\left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2 k_{12}}\right)^2 + \frac{2}{k_{13} k_{31}}} - \frac{\lambda_1}{\lambda_2 k_{12}}. \quad (3.22)$$

Таким образом, если л. п. р. выбрало режим  $\alpha_1$  (см. рис. 21), то в момент

$$t' = \sqrt{\left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2 k_{12}}\right)^2 + \frac{2}{k_{13} k_{31}}} - \frac{\lambda_1}{\lambda_2 k_{12}}$$

все атакующие объекты стороны  $A$  должны быть переориентированы на уничтожение группировки  $x_2$  стороны  $B$ . Это условие может быть выполнено, если время конфликта (время взаимодействия) известно. На самом деле время  $T$  заранее не известно и также должно быть определено из условий решения основной задачи конфликта. Если известен закон изменения состава группировок сторон  $A$  и  $B$ , то поставленную задачу можно решить, определив величину функционала (3.13) в момент  $T$ , т. е. определив

$$\dot{G}_T = \lambda_2 x_2(T) - \lambda_1 x_1(T).$$

Время конфликта, выбираемое л. п. р., должно иметь такое значение, при котором величина  $G_T$  достигает максимума, т. е.

$$T_{\text{opt}} = \arg \max_T [\lambda_2 x_2(T) - \lambda_1 x_1(T)]. \quad (3.23)$$

Предположим, что при выбранном  $T$  существует  $\tau > 0$ , т. е. конфликт начинается с уничтожения группировки  $x_3$  (ветвь  $\alpha_1$  дерева решений). При  $u = -1$  система уравнений приводится к виду

$$\dot{x}_1 = -k_{31} x_3, \quad \dot{x}_3 = -k_{13} x_1, \quad \dot{x} = 0. \quad (3.24)$$

Система (3.24) действительна на интервале времени  $[0, \tau]$ .

Продифференцируем второе уравнение (3.24) по времени и подставим в него первое уравнение; аналогичную операцию про-

делаем и с первым уравнением (3.24). В результате получим

$$\ddot{x}_1 = -k_{31}k_{13}x_1, \quad \ddot{x}_3 = -k_{13}k_{31}x_3. \quad (3.25)$$

Решения уравнений системы (3.25) находим в виде

$$x_1(t) = C_1^1 \exp(\sqrt{k_{31}k_{13}}t) + C_2^1 \exp(-\sqrt{k_{13}k_{31}}t), \\ x_3(t) = C_1^3 \exp(\sqrt{k_{31}k_{13}}t) + C_2^3 \exp(-\sqrt{k_{13}k_{31}}t).$$

Для определения постоянных составим следующую систему уравнений:

$$\sqrt{k_{13}k_{31}}C_1^1 - \sqrt{k_{13}k_{31}}C_2^1 = -k_{31}x_{30}, \\ \sqrt{k_{13}k_{31}}C_1^3 - \sqrt{k_{13}k_{31}}C_2^3 = -k_{13}x_{10}, \\ C_1^1 + C_2^1 = x_{10}, \\ C_1^3 + C_2^3 = x_{30},$$

после решения которой получим

$$C_1^1 = \frac{-k_{31}x_{30} + \sqrt{k_{13}k_{31}}x_{10}}{2\sqrt{k_{13}k_{31}}}, \quad C_2^1 = \frac{k_{31}x_{30} + \sqrt{k_{13}k_{31}}x_{10}}{2\sqrt{k_{13}k_{31}}}, \\ C_1^3 = \frac{-k_{13}x_{10} + \sqrt{k_{13}k_{31}}x_{30}}{2\sqrt{k_{13}k_{31}}}, \quad C_2^3 = \frac{k_{31}x_{10} + \sqrt{k_{13}k_{31}}x_{30}}{2\sqrt{k_{13}k_{31}}}.$$

В момент времени  $\tau$ , т. е. в момент переключения, величины  $x_1$ ,  $x_2$  и  $x_3$  определяются уравнениями

$$x_1(\tau) = C_1^1 \exp(\sqrt{k_{13}k_{31}}\tau) + C_2^1 \exp(-\sqrt{k_{13}k_{31}}\tau), \\ x_3(\tau) = C_1^3 \exp(\sqrt{k_{13}k_{31}}\tau) + C_2^3 \exp(-\sqrt{k_{13}k_{31}}\tau), \\ x_2(\tau) = x_{20}, \quad (3.26)$$

где

$$\tau = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 k_{12}} + T - \sqrt{\left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2 k_{12}}\right)^2 + \frac{2}{k_{13}k_{31}}}.$$

Значения  $x_1(\tau)$ ,  $x_2(\tau)$ ,  $x_3(\tau)$  являются начальными условиями для интегрирования системы уравнений (3.9) на интервале времени  $[\tau, T]$  при значении управления  $u = +1$ . На этом интервале динамика управляемой системы описывается следующими уравнениями:

$$\dot{x}_1 = -k_{31}x_3, \quad \dot{x}_2 = -k_{12}x_1, \quad \dot{x}_3 = 0. \quad (3.27)$$

Интегрируя систему (3.27), получим

$$x_1(t) = -k_{31}x_3(\tau)t + x_1(\tau), \\ x_2(t) = (k_{12}k_{31}/2)x_3(\tau)t^2 - k_{12}x_1(\tau)t + x_{20}.$$

Если  $T > \tau$ , то

$$\begin{aligned} x_1(T) &= -k_{31}x_3(\tau)T + x_1(\tau), \\ x_2(T) &= (k_{12}k_{31}/2)x_3(\tau)T^2 - k_{12}x_1(\tau)T + x_{20}, \end{aligned} \quad (3.28)$$

где  $x_1(\tau)$  и  $x_3(\tau)$  определяются выражениями (3.26).

Выражения (3.28) определяют  $x_1$  и  $x_2$  как функции переменной  $T$  в предположении, что выбрана ветвь  $\alpha_1$  дерева решений (см. рис. 17), предполагающая последовательную атаку группировок  $x_3$  и  $x_2$  стороны  $B$ . Если условие (3.22) не выполняется, то динамика конфликта описывается уравнениями (3.27) при  $u = +1$  и начальных условиях  $x_1(0) = x_{10}$ ,  $x_2(0) = x_{20}$ ,  $x_3(0) = x_{30}$ . Решая эту систему уравнений, получим:

$$\begin{aligned} x_1(T) &= -k_{31}x_{30}T + x_{10}, \\ x_2(T) &= (k_{12}k_{31}/2)x_{30}T^2 - k_{12}x_{10}T + x_{20}. \end{aligned} \quad (3.29)$$

Из сказанного следует, что на интервале  $[0, T]$ , где  $T$  определяется из условия (3.22), значения  $x_1(\tau)$  и  $x_2(\tau)$  вычисляются по формулам (3.29), а при существовании  $\tau > 0$  — по формулам (3.28). Необходимые для расчетов значения  $x_1(\tau)$ ,  $x_2(\tau)$ ,  $x_3(\tau)$  определяются по формулам (3.26). Для определения времени  $T$  необходимо исследовать функционал  $G(T) = \lambda_2 x_2(T) - \lambda_1 x_1(T)$  на экстремум при изменении времени конфликта от нуля до максимально возможной величины ( $T_{\max}$  определяется экспертным путем). Значение  $T$ , при котором величина функционала  $G$  достигает максимума, должно быть принято за оптимальное время конфликта. В зависимости от величины  $T_{\text{opt}}$  в распоряжении л. п. р. оказывается несколько альтернативных решений. Если  $T_{\text{opt}}$  таково, что существует  $\tau > 0$ , то в этом случае наиболее рациональной оказывается последовательная атака группировок стороны  $B$  (ветвь  $\alpha_1$  дерева решений). Если  $\tau = 0$ , в этом случае целесообразно использовать ветви  $\alpha_2$  и  $\alpha_3$  дерева решений (см. рис. 17). При условии  $T > T_{\text{opt}}$  конфликт должен быть прекращен, поскольку в этом случае резко снижается эффективность выполнения задачи атакуемыми объектами стороны  $A$ . Может оказаться, что  $T_{\text{opt}} = 0$ . В этом случае следует отказаться от вступления в конфликтную ситуацию, если не учитывать другие решения, которые здесь не рассматривались.

Предложенный подход обеспечивает л. п. р. объективной информацией, позволяющей принимать грамотные решения в рассматриваемой ситуации противоборства сторон  $A$  и  $B$ .

## ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В КОНФЛИКТНОЙ СИТУАЦИИ

### 4.1. Принятие решений в ходе деятельности

Проблема принятия решений имеет в жизни человека особое значение, ведь любая деятельность — это в конечном итоге цепочка принятия решений. Если говорить о конфликте, то принятие решения занимает центральное место в структуре деятельности лица, принимающего решения (человека, управляющего динамическим объектом), поскольку указанное лицо принимает решение и при определении цели конфликта, и при его планировании, и при выборе целесообразных стратегий. Здесь под решением будем понимать выбор из ряда возможностей, имеющихся у л. п. р. По мнению Б. Ф. Ломова [56], процесс принятия решения включает: выявление проблемной ситуации, мысленное выдвижение гипотез, их оценку, выбор той гипотезы, которая обеспечивает достижение требуемого результата. Из сказанного следует, что принятие решения как бы пронизывает все составляющие деятельности и потому должно рассматриваться в системе других процессов, включенных в реальную деятельность человека. Чтобы изучить механизм принятия решения, необходимо иметь ясное представление о структуре деятельности и включенных в нее психических процессов.

Если ситуация проста, то человеку не требуется привлекать научные (математические) методы, поскольку решение находится с помощью опыта, навыков, интуиции. Но картина резко меняется, если речь идет о сложных ситуациях, к которым относится и ситуация конфликта. Здесь, пожалуй, трудно обойтись без методов исследования операций, т. е. методов специальной науки, использующей для обоснования решений тот или иной математический аппарат. Вопросам построения математического аппарата, достаточно адекватно описывающего ситуацию реального конфликта, и были посвящены первые главы книги. Воспользовавшись этим аппаратом, можно построить алгоритм поведения человека в конфликтной ситуации, который предписывает нормы поведения лицу, принимающему решение. Эти нормы должны строго выполняться л. п. р., ибо в противном случае оно вступит в противоречие со своими собственными суждениями и предпочтениями. Другими словами, нормативная теория определяет логическую форму мышления человека. Английский математик-самоучка Джордж Буль считал, что именно по законам логики (и только по законам

логики) человек принимает те или иные решения. Открытые Дж. Булем «законы мысли» относятся к так называемому репродуктивному мышлению и позволяют математически строго вывести из заданных посылок все возможные следствия. Очень часто в различных жизненных ситуациях логика (булева алгебра, нормативная теория конфликта) — гордость человеческой мысли — оказывается совершенно беспомощной там, где индивид, не обремененный никакими научными знаниями, находит правильное решение. Это является следствием того, что логика не в состоянии более или менее адекватно описать продуктивное творческое мышление человека: последнее до сих пор считается областью, где господствует интуиция, не поддающаяся (а точнее, трудно поддающаяся) формализации. Отсюда следуют, по крайней мере, два вывода.

Во-первых, нормативная теория конфликта, основанная на логике, определяет поведение рационального человека, «наделенного умом» (если пользоваться триадой эмпирической психологии, выделявшей в психике «ум», «чувство» и «волю» [56]). Далеко не очевидно, что в сложных жизненных ситуациях, к которым относится конфликт, человек будет строго выполнять логические правила. Более того, сложные ситуации «окрашены», как правило, отрицательными эмоциями (страх, гнев и т. д.), которые подавляют творческую активность человека. Так, экспериментальные исследования психологов показывают [16], что если в спокойной обстановке человек способен различать 5—7 зрительных или слуховых сигналов, то в тревожной, например в аварийной, ситуации — не более 2—3 сигналов.

Во-вторых, психология мышления не может быть сведена только к логике: наряду с логической существует и интуитивная форма мышления. Именно эта форма мышления позволяет (и довольно часто) л. п. р. распознать замысел противоборствующей стороны в конфликтной ситуации, руководителю найти удовлетворительное решение в «безвыходной ситуации» и т. д.

Но что такое интуиция? Современная наука накопила определенный материал (теоретический и экспериментальный), позволяющий высказать ряд положений по поводу интуиции, хотя считать эти положения полной и глубокой характеристикой указанного феномена человеческого мышления было бы преждевременно.

Когда мы говорим об интуиции, то понимаем ее как способность быстро выполнить расчет, принять решение, решить задачу лишь при наличии исходной посылки, минуя все промежуточные логические стадии развития мысли. На уровне интуиции решение задачи не выводится строго логически, а как бы улавливается, причем «пусковым механизмом» интуитивного решения задачи являются догадка, базирующаяся на внутренней информации человека, подсказка, пришедшая к человеку со стороны. Внешне решение задачи на интуитивном уровне подобно перескоку мысли ученого через пропасть неизвестного без возведения на пути этого



ее перескока каких-либо опорных пунктов [29]. Многие ученые отмечали подсознательный характер своего творческого процесса. По свидетельству математика В. Стеклова, процесс этот производится бессознательно, формальная логика здесь никакого участия не принимает, истина добывается не ценою умозаключений, а именно чувством, которое мы называем интуицией [58]. Но все это лишь внешняя сторона интуиции. Возникает вполне резонный вопрос: как же достигается адекватность исходной посылки и полученного решения, т. е. каков механизм интуиции?

Наиболее полно и глубоко проблема интуиции раскрыта Б. М. Тепловым на примере деятельности полководца. Он полагал, что интуитивное умозаключение — это всегда сокращенное умозаключение, но сокращенное не столько за счет полного выпадения тех или других звеньев, сколько за счет того, что звенья эти проносятся более или менее бессознательно [95]. Из этой формулировки следует, что Б. М. Теплов не считал весь процесс мгновенного понимания и решения полностью бессознательным: та исключительная быстрота мысли, которая при этом требуется, предполагает максимальную ясность сознания. В этом смысле можно сказать, что интуиция — это предельное обострение сознания. По этому же поводу Клаузевиц высказал мысль о том, что: большая или меньшая часть этой интуиции бесспорно состоит в полусознательном сравнении всех величин и обстоятельств, с помощью которого быстро устраняется все маловажное и несущественное, а более нужное и главное распознается скорее, нежели путем строго логических умозаключений. Анализ сказанного позволяет усомниться в правильности внешней картины интуиции («перескок мысли» и т. д.), поскольку «опорные пункты» все-таки существуют, а вот уровни их существования могут быть различны. В зависимости от типа решаемых задач, их сложности «опорные пункты» интуиции могут существовать как на сознательном (полусознательном), так и на бессознательном (подсознательном) уровнях.

Не вдаваясь в подробности обоснования выдвинутой гипотезы, отметим лишь бесспорный факт: интуиция опирается на ранее приобретенные знания, на запечатленную мозгом информацию. Не всегда эта информация становится достоянием сознания и может быть точно описана словами или представлена другими логическими формами, т. е. речь идет о допороговых сигналах, воспринимаемых подсознанием. Здесь важен сам факт существования информации, ее наличия в мозгу л. п. р., ибо только в этом случае возможен акт принятия решения на интуитивном уровне.

Отсюда следует, что интуитивное озарение не магия, не волшебство, не иррациональный феномен, а результат обработки доступной информации (внешней и внутренней, хранящейся в сознании индивида). То обстоятельство, что указанная обработка не осознается, не меняет сути дела. Важен сам факт обработки информации, а не уровни, на которых она происходит. Поскольку это так, то чрезвычайно быстрое (иногда почти мгновенное)

венное) нахождение правильного решения требует длительной и кропотливой подготовительной работы. Можно высказать предположение: чем глубже человек понимает особенности своей деятельности (в нашем случае — особенности управления динамическим объектом), чем выше его профессиональное мастерство, тем тоньше его интуиция. Обращая внимание на эту особенность интуиции, С. Л. Рубинштейн писал, что счастливый миг, приносящий решение задачи, — это по большей части час жатвы тех плодов, которые возжили в результате всего предшествующего труда [90].

Но длительной подготовки требует и логическая форма мышления. Так в чем же дело? Что отличает эти две формы мышления?

По мнению Б. М. Теплова [95], интуиция есть качественно своеобразный процесс, отличающийся от развернутых процессов логического мышления не только скоростью протекания. Он полагает, что при известной скорости протекания мыслительный процесс становится уже другим, приобретает новое качество, осуществляется иными психологическими механизмами. Поэтому мы имеем полное право говорить об интуиции, как об особой способности, как о своеобразной стороне умственной работы. Эти же мысли Б. М. Теплова подтверждает и искусство диагноза великого психиатра Владимира Михайловича Бехтерева, о котором до сих пор ходят легенды. Правда, сам Бехтерев говорил (об искусстве диагноза или обобщения), что обобщение происходит не раньше, чем накопится более или менее достаточное для него количество опытного материала, т. е. он выделял в интуиции ее информационное обеспечение. Анализируя диагностический дар В. М. Бехтерева, академик Н. П. Бехтерева высказывает интересные мысли, касающиеся искусства диагноза, чувства болезни, чувства мозга, т. е. того, что называют интуицией врача. Она говорит, что диагноз — это талант, помноженный на опыт [60].

И здесь естествен вопрос: всегда ли интуитивные решения оказываются верными?

Тот почти «божественный ореол», созданный вокруг интуиции, те многочисленные славословия интуиции затемняют одно существенное обстоятельство: интуитивные догадки могут быть ложными. А все дело в человеческой памяти: когда вспышки, озарения оказываются верными, они хорошо запоминаются, о них пишут, их анализируют и т. д. Ошибочные же интуитивные умозаключения в автобиографические записки и другие литературные опусы просто не попадают. Между тем ошибки интуиции типичны: их можно сгруппировать и показать, что в основе каждой группы ошибочных интуитивных выводов лежат обычно одинаковые психологические явления (сходные ошибки вызываются сходными причинами). Анализ ошибок интуиции полезен с той точки зрения, что позволяет вскрыть или хотя бы пролить свет на механизмы творческого мышления человека, а эти механизмы могут явиться основой для построения психологической теории принятия решений, включая принятия решений в условиях конфликта.

Первая группа ошибок интуиции связана с недостаточной информированностью лица, принимающего решение. Нередки случаи, когда опираться на опыт и здравый смысл при выборе решений просто невозможно, ибо речь идет о мероприятии, которое осуществляется в первый раз. Поскольку опыт в данной ситуации «молчит», то и здравый смысл может обмануть. И тем не менее сплошь и рядом «эксперты» проявляют куда большую категоричность в суждениях и прогнозах, чем позволяют их знания о предмете. Отсюда следует, что для принятия более или менее достоверного интуитивного умозаключения л. п. р. должно «обладать» минимальной информацией о предмете, ситуации, явлении (минимум информации определяется той «порцией», начиная с которой можно вообще говорить о достоверности и которая зависит от психологических качеств л. п. р.).

Вторая группа ошибок интуиции связана с игнорированием законов математической и формальной логики, математической статистики и теории вероятностей; с неправильной оценкой случайностей. Так, психологи обнаружили [43], что человек в своих рассуждениях, как правило, пренебрегает размерами случайной выборки, переоценивает вероятности маловероятных (особенно угрожающих) событий и недооценивает вероятности очень правдоподобных событий. Более того, человек может сознательно освоить и применять в научных расчетах законы математической статистики, но эти законы обычно не входят в его мыслительный аппарат, обуславливающий интуитивное решение. Для примера рассмотрим поведение человека в известной игре «орел—решка». Если три или четыре раза кряду выпадает «решка», то игроки, как правило, на нее ставить не будут, ибо они ждут выпадания «орла». Хотя в данном случае речь идет о независимых событиях и независимых вероятностях, все же у игроков появляется «предчувствие», почти уверенность, что в следующий раз обязательно выпадет «орел». Это же «предчувствие» заставляет до сих пор участвовать в известной игре «Спортлото» людям, прекрасно образованным «в вероятностном отношении» (они не только участвуют, что является личным делом каждого, а ищут определенные «системы», которые якобы приведут к быстрому и большому выигрышу). Указанные парадоксы мышления человека вызваны тем, что интуиция рассматривает последовательность случайных событий как самокорректирующийся процесс, в котором отклонение в одну сторону влечет за собой отклонение в другую («для восстановления равновесия»). А это значит, что на интуитивном уровне используется совокупность правил принятия решения (назовем ее алгеброй интуиции), которая имеет больше детерминированный, чем вероятностный характер (по крайней мере, это верно для существующего уровня развития математической статистики и ее законов).

Третья группа ошибок интуиции связана с ошибками в оценке частоты различных явлений: те события и явления, которые «эмоционально окрашены», человек помнит дольше, они чаще вос-

производятся памятью и кажутся более частыми. Один из принципов запоминания, полученных П. П. Блонским [56], выглядит так: «Чем старше память, тем больше в ней эмоционального». Высказанные выше причины ошибок подтверждаются результатами следующего опыта [58]. Испытуемым читали список мужских и женских фамилий, причем женские были знаменитые (актрисы, писательницы), а мужские — «обыкновенные». На вопрос, кого из перечисленных больше, обычно отвечали — женщин, хотя на самом деле тех и других было поровну. Причина неправильной интуитивной оценки данной ситуации — легкость запоминания и воспроизведения «знаменитых» фамилий.

Итак, даже беглый анализ ошибок интуиции позволяет сделать ряд выводов.

1. Ошибки интуиции с точки зрения логики часто бывают элементарны, а это значит, что «логическая подсказка» может оказаться решающей для принятия адекватных решений.

2. Изучение ошибок интуиции является одним из подходов (пожалуй, одним из главных) к изучению механизмов мышления реального человека в реальных ситуациях, включая сложные конфликтные ситуации.

3. Нельзя построить адекватные модели принятия решений, если не учитывать особенности интуитивной формы мышления, поскольку человек познает мир, пользуясь как логикой, так и интуицией (именно поэтому человеческий мозг имеет функциональную асимметрию или специализацию полушарий).

Из сказанного следует, что наряду с теорией построения математических и лингвистических моделей принятия решений необходимо всемерно развивать психологическую теорию принятия решений в реальных ситуациях, включая ситуации конфликта. Контуры этой теории в настоящее время только вырисовываются. Ясно одно, что для построения адекватных моделей принятия решений необходим специфический аппарат, основанный на диалектическом взаимодействии логического (математического) и интуитивного (психологического) в поведении реального человека.

#### **4.2.Принятие решений в условиях конфликта**

Во введении говорилось, что существует два подхода к изучению конфликта: нормативный и психологический. В этом параграфе мы попытаемся обосновать необходимость психологического подхода к изучению конфликта.

Целью нормативных исследований является разработка норм поведения (правил поведения, принципов поведения), позволяющих л. п. р. оптимально, а точнее, рационально, разрешить данный конфликт или способствующих разрешению конфликта с максимально возможным результатом. Эти правила (принципы нормы) могут быть выработаны в результате обобщения человеческого опыта, и в этом случае они выступают в виде требования со стороны общества, которые предъявляются к конкретному инди-

виду в сложившейся ситуации, а могут быть получены с помощью математических методов. Понятно, что выработанные обществом правила вытекают из жизни, хотя подчас бывает трудно установить истоки тех или иных предписаний (требований). Поскольку человек живет в постоянно меняющемся и многозначном мире, то правила и требования, выработанные обществом, приносят стабильность и порядок. Это в полной мере относится и к межличностным конфликтам [23]. Именно указанные правила, будучи сравнительно немногочисленными и однозначными, помогают людям согласовывать свои действия, приводить их к «общему знаменателю». Все это значительно упрощает организацию повседневного поведения людей, включая поведение в конфликтных ситуациях. Одной из наук, занимающихся исследованием межличностных конфликтов с целью выработки норм поведения (правил, принципов), является праксеология [44].

Суть исследований, которыми занимается праксеология, сводится к разработке эвристических правил, в которых сконцентрирован опыт множества людей, принимавших участие в конфликте. В качестве примера можно привести следующие правила: заботься о свободе действий собственных сил и средств, а также ограничивай свободу действий своего противника; старайся парализовать руководящую инстанцию участвующего в конфликте противника; когда время работает на тебя, применяй принцип медлительности («играй в долгий ящик») и т. д. Если проанализировать тактические принципы (правила), которые использовались советскими летчиками в период Великой Отечественной войны, то нетрудно заметить, что по своей сути они являются праксеологическими правилами. Среди многообразия правил этого периода в первую очередь следует отметить «формулу грозы, формулу победы» [74]: Высота — скорость — маневр — огонь! Следуя требованиям этой формулы, летчик обеспечивал своему истребителю к началу боя необходимый для победы энергетический уровень. Вот как эту мысль трактует создатель формулы победы Маршал авиации А. И. Покрышкин [74]: «Высоту мы превращали в скорость, которая обеспечивала нам нужную внезапность, маневренность, уничтожающий огневой удар и опять же высоту на выходе из атаки».

Чем больше в тезаурусе человека, участвующего в конфликте, приемов и правил праксеологического толка, тем, как правило, разнообразнее его поведение и выше вероятность выполнения поставленной задачи. Однако не следует забывать, что праксеологическим правилам (принципам, приемам) свойственны недостатки эвристики: неточность (расплывчатость), лингвистическая неопределенность и т. д. Кроме того, рассматриваемые правила весьма общи, а порой и противоречивы; и вовсе не очевидно, что человек, воспользовавшись этими правилами, достигнет желаемого результата в реальном конфликте. Если говорить о формуле А. И. Покрышкина, то она является общей рекомендацией, ориентируясь на которую летчик может добиться победы в воздушном

бою. Но достижение победы будет зависеть и от профессиональных и психологических качеств летчика, его тактической оснащенности, конкретной ситуации воздушного боя и т. д. Другими словами, рассматриваемая формула определяет закономерности воздушного боя «в среднем», но не дает рекомендаций конкретному летчику в конкретной ситуации воздушного боя.

Более точные и рациональные принципы (правила) поведения противоборствующих сторон определяются методами теории игр, которая представляет собой математическую теорию выработки оптимальных решений в конфликтных ситуациях. Являясь разделом оптимизации, теория игр основывается на концепции предпочтения полезности: лучшей альтернативой признается та, которая в зависимости от постановки задачи обеспечивает либо максимум, либо минимум, либо минимаксное решение или же отвечает каким-либо другим требованиям (в частности, другим принципам оптимальности), обеспечивающим формирование правил принятия решений. К особенностям этой теории следует отнести ее применимость для решения хорошо структуризованных задач (это не только особенность, но и существенное ограничение теории). Теоретико-игровые модели противоборства управляемых динамических объектов рассмотрены во второй главе.

Уместен здесь вопрос: в полной ли мере теоретико-игровые модели отражают существо реального конфликта? Анализ материалов гл. 2 показывает, что однозначного ответа здесь нет, поскольку палитра реальных конфликтов оказывается значительно богаче множества тех моделей, которые изучаются теорией игр. Далеко не каждый конфликт может быть формализован, а следовательно, далеко не каждый конфликт может быть подвергнут анализу с помощью математического аппарата. Если речь идет о поиске решений методами теории игр, то предполагается заданной (формализованной) модель конфликта: определено количество игроков и их активность (преследователь, преследуемый), задана функция полезности, определен тип игры и т. д. Что касается причин и природы конфликтов, то эти вопросы остаются в стороне и совершенно не рассматриваются в теории игр. И уж тем более в данной теории не рассматриваются важнейшие вопросы, связанные с исследованием влияния личности игрока на процесс поиска, выбора и эффективности решений, т. е. те вопросы, которые являются предметом психологических исследований конфликта.

Необходимость психологического подхода к исследованию конфликта вызвана тем, что нормативные теории, определяющие оптимальные (рациональные) стратегии с помощью формализованных моделей, не дают рекомендаций конкретному лицу в конкретной обстановке. А в реальной ситуации противоборства важно получить или иметь в тезаурусе именно такую рекомендацию. Указанные обстоятельства следуют из анализа существа принципов (правил, стратегий) нормативной теории, который показывает, что в принципах представлен не сам субъект, не его способы выбора альтернатив, а лишь конечные и идеальные формы разрешения

противоречий в условиях конфликта. Свое идеальное выражение принципы получили в результате абстракции от реального человеческого бытия, т. е. от тех материальных побудительных сил, которые скрыты в природе человека, в его свойствах и качествах как субъекта деятельности. Поэтому принципы не могут выступать в роли отражения закономерностей противоборства, раскрывающих субъективную сторону реального конфликта. Анализируя различные пути познания действительности, Ф. Энгельс писал: «Принципы не исходный пункт исследований, а его заключительный результат; эти принципы не применяются к природе и к человеческой истории, а абстрагируются из них; не природа и человечество сообразуются с принципами, а, наоборот, принципы верны лишь постольку, поскольку они соответствуют природе и истории» [1, с. 34].

Из сказанного следует, что для полной характеристики реального конфликта только результатов нормативной теории оказывается недостаточно: нужны исследования динамики поведения людей в условиях противоборства. Только в этом случае могут быть получены объективные законы и закономерности, связывающие реальные объекты в условиях конфликта. И здесь могут использоваться различные подходы и методы, включая и формализованные теоретико-игровые модели. Поступают ли люди в соответствии с рекомендациями формализованных моделей конфликта? Если их поведение отклоняется от оптимального, то каков генезис этого отклонения? В какой степени влияют психологические качества л. п. р. на отклонение решений от оптимальных?

Ответы на эти вопросы позволяют хотя бы частично вскрыть закономерности противоборства реальных объектов в условиях конфликта, наметить пути построения эффективных человеко-машинных систем, основанных на рациональном использовании «достоинств» человека и ЭВМ, организовать рациональное взаимодействие человека и технической системы (управляемого динамического объекта).

Рассмотрим простейшую и наиболее изученную модель конфликта — антагонистическую игру двух лиц с седловой точкой. Основным признаком этого типа игр является наличие пары чистых минимаксных стратегий, называемых оптимальным решением игры. Хотя эта модель и является простейшей, тем не менее ее психологический анализ позволяет выявить ряд особенностей поведения людей в такого рода конфликте.

Экспериментальные исследования показали [86, 87], что в антагонистических играх, имеющих седловую точку, человек чаще всего выбирает чистые минимаксные стратегии. Причем частота такого выбора по мере увеличения количества экспериментальных игр растет: так при 10 экспериментах минимаксные стратегии для одного из игроков составляли 53,5 %, при 50 экспериментах — 82,7 %. Аналогичные результаты получены в работе [102]: выбор минимаксных стратегий для одного из игроков составляет 66,7 и 93,3 % соответственно.

В эксперименте обнаружались также значительные межличностные различия. С точки зрения выбора оптимальных (минимаксных) стратегий всех участников эксперимента можно разделить на три группы. Первая группа (довольно малочисленная) постоянно выбирает оптимальные (минимаксные) стратегии («минимаксные» игроки). Игроки, входящие в эту группу, обладают хорошо развитым логическим мышлением, но осторожны (их кредо: лучше иметь минимальный, но постоянный выигрыш). Во вторую, наиболее многочисленную группу входят участники эксперимента (игроки), решения которых часто отклоняются от оптимальных, в результате чего теряется часть выигрыша. После приобретения опыта в процессе эксперимента многие из игроков этой группы начинают выбирать оптимальные стратегии, т. е. переходят в первую группу. Оставшиеся игроки, которые даже после обучения продолжают выбирать неминимаксные стратегии, составляют третью группу («неминимаксные» игроки). Игроки этой группы меньше надеются на «силу» логического мышления, а больше на интуицию; по характеру они больше склонны к риску (лучше выигрывать реже, но крупно).

Возникает вопрос: почему в такой простейшей игре люди действуют неоптимально?

Анализ экспериментального материала показывает [86, 102], что одной из причин неоптимального поведения людей в антагонистических играх, имеющих седловую точку, является односторонний анализ матрицы игры, т. е. «неминимаксные» игроки ведут игру с собственной точки зрения, игнорируя точку зрения противника (игра ведется не на рефлексивной основе). Наиболее ярко эта причина проявилась в начале эксперимента, т. е. при малом опыте у противоборствующих игроков. По мере накопления опыта игроки, которые начинают понимать необходимость анализа матрицы игры, переходят в группу «минимаксных».

Удалось выявить в результате эксперимента и другую, не менее интересную особенность поведения: оказывается, часть игроков умеет использовать интеллектуальную слабость противника. Речь идет о том, что если противник действует неоптимально, то многие игроки применяют такие контрстратегии, которые в данных условиях обеспечивают самый большой выигрыш. Поведение этой группы людей является функцией не только матрицы полезностей, но и действий противника. Так, эксперимент показал, что если противник действует оптимально, то эта группа игроков также действует оптимально, т. е. выбирает минимаксные стратегии (более чем в 90 % случаев). Если же игрок «интеллектуально слабый», то оптимальные стратегии используются значительно реже (только в 20 % случаев). Эти данные в полной мере совпадают с данными массовых наблюдений из спортивной жизни. Например, хороший шахматист, почувствовав, что его партнер профессионально слаб, начинает играть примитивно и быстро добивается победы. С сильным противником такой стиль немедленно привел бы к поражению. Другими словами, в зависимости от



«силы» противника шахматист выбирает тот или иной стиль игры. Анализ поведения противника говорит о высокой адаптивной гибкости людей в конфликтных ситуациях (по крайней мере, в играх с нулевой суммой).

Итак, в анализируемых антагонистических играх люди чаще всего выбирают минимаксную стратегию при условии, что их противник также использует эту стратегию (поведение этой группы людей соответствует правилам теории игр). Однако если противник действует неоптимально, игроки выбирают такие контрстратегии, которые позволяют в максимальной степени использовать эту слабость. Это означает, что поведение части игроков первой и второй групп является функцией не только матрицы игры, но и способа действия противника.

Рассмотрим поведение игроков в более сложном формализованном конфликте — в антагонистической игре без седловой точки (иногда эти игры называются открытыми). Характерным для этих игр является тот факт, что чистые минимаксные стратегии не находятся в равновесии и отклонение от них оказывается выгодным. Оптимальными решениями для этого типа игр являются минимаксные смешанные стратегии, т. е. комбинации чистых стратегий [32], обеспечивающие наиболее высокий уровень «безопасности» (по своей величине этот уровень равен значению игры). Проще всего определить минимаксные смешанные стратегии в играх малой размерности  $2 \times 2$  и  $3 \times 3$ . Именно эти игры и использовались в эксперименте. Что касается определения смешанных стратегий в играх большой размерности (большое число чистых стратегий), то эта задача оказывается достаточно сложной и чаще всего решается методами линейного программирования с помощью ЭВМ.

Как показывают экспериментальные исследования [87, 102], человек испытывает определенные трудности в формализованных играх без седловой точки. Так, в одной из экспериментальных игр вместо смешанной минимаксной стратегии  $S'_A = ({}^3/4 A_1, {}^1/4 A_2)$  игрок применил смешанную стратегию  $S'_A = ({}^2/5 A_1, {}^3/5 A_2)$ , где  $A_1$  и  $A_2$  — чистые стратегии. Анализ стратегий  $S_A$  и  $S'_A$  показывает, что поведение игрока значительно отличается от оптимального. Если в соответствии с теорией игрок должен был чаще (причем значительно чаще) выбирать стратегию  $A_1$ , то в реальном конфликте он чаще пользовался стратегией  $A_2$ . В чем же дело?

Из материалов эксперимента следует, что, чем больше отличаются вероятности (частоты) чистых стратегий, т. е. чем больше их полярность, тем больше поведение человека отличается от оптимального. Так, оказалось, что наименьшее отклонение от оптимального решения характерно для игр, минимаксная стратегия которых составляет  $0,5 A_1$  и  $0,5 A_2$ , а наибольшее — для игр, минимаксная стратегия которых составляет  $0,9 A_1$  и  $0,1 A_2$ . Эта закономерность скорее всего является следствием тенденции, суть которой состоит в следующем [43]: человек, как правило, переоценивает малые вероятности событий (чистых стратегий) и недооцени-

вает большие. Особенно заметно эта тенденция проявляется в случае полярного распределения вероятностей. Другими словами, в антагонистическом конфликте имеет место «выравнивание» вероятностей, входящих в состав смешанных стратегий.

Чтобы объяснить поведение человека в рассматриваемых играх, следует вспомнить, что формализованная конфликтная ситуация, не имеющая седловой точки, относится к классу трудных (трудных с точки зрения человека, а не ЭВМ). Первая трудность связана с самим понятием смешанной стратегии (чтобы рационально действовать, нужно уметь формировать смешанные стратегии, а это не так просто даже в играх не очень большой размерности). Насколько понятие чистых стратегий является простым и хорошо известным, настолько понятие смешанной стратегии является сложным и новым для большинства лиц, участвующих в эксперименте. Вторая трудность связана с выбором из множества смешанных стратегий оптимальной или минимаксной. Этот выбор часто требует (особенно для игр большой размерности) проведения трудоемких и длительных расчетов. А поскольку возможности человека по проведению такого рода расчетов ограничены, то это и является причиной выбора неоптимальных решений.

Рассмотренные выше трудности приводят к тому, что применяемая людьми тактика выбора чистых стратегий не соответствует предполагаемой теорией игр тактике случайного выбора. В экспериментальных играх люди чаще всего используют регулярную (детерминированную) тактику, которая зависит от результата (выигрыша или проигрыша) предыдущей игры (выбор стратегии в  $i$ -й игре зависит от результата, достигнутого в  $(i-1)$ -й игре). Если это так, то «умный» противник (в частности, ЭВМ) может легко разгадать поведение человека в такого рода играх и построить выигрышную тактику.

Итак, в антагонистических играх без седловой точки люди поступают не по правилам теории игр, т. е. применяют неоптимальные стратегические и тактические решения. Основной причиной такого поведения человека является сложность игр, не имеющих седловой точки.

И наконец, рассмотрим поведение человека в неантагонистическом конфликте, который представляет наибольший интерес, поскольку является приближенной моделью многих реальных конфликтов (рассмотренные ранее конфликты в жизни встречаются реже, хотя их анализ и представляет определенный практический интерес). Именно построению модели неантагонистического конфликта и посвящена вторая глава.

Анализ экспериментального материала показывает [87, 102], что при выборе решений в неантагонистических играх важную роль играет мотив, являющийся внутренним побуждающим и направляющим фактором при достижении целей, представляющих для человека определенную субъективную ценность (полезность). В такого рода играх можно выделить следующие мотивы: мотив максимального выигрыша и мотив соперничества. Что касается

мотива сотрудничества, то он оказывается противоестественным для игр, изучаемых во второй главе.

Что же представляют собой интересующие нас мотивы?

Игрок, руководствуясь мотивом максимального выигрыша, стремится к увеличению своего безусловного выигрыша (первый игрок стремится увеличить выигрыш  $a_{ij}$ , а второй игрок —  $b_{ij}$ ). Причем, решая эту задачу, противоборствующие игроки не интересуются выигрышем противника (главное — получить максимальный выигрыш, хотя «плата» за этот выигрыш может быть высокой), т. е. анализируют матрицу решений только со своей точки зрения. Этот мотив является доминирующим для лиц со слабо развитым логическим мышлением, но с высоким уровнем притязаний (эти лица стремятся к самоутверждению любой ценой). Анализ показывает, что многие игроки из третьей группы часто руководствуются мотивом максимального выигрыша или индивидуалистическим мотивом.

Несколько иначе поступают игроки, руководствуясь мотивом соперничества: для данного мотива характерно достижение максимума не безусловного, а условного выигрыша. Как известно, условный выигрыш тем больше, чем больше разница между безусловными выигрышами  $a_{ij}$  и  $b_{ij}$ . Максимум этой разности можно обеспечить не только при больших значениях  $a_{ij}$ , но и при малых значениях  $b_{ij}$ , т. е., руководствуясь этим мотивом, игрок должен стремиться не только к увеличению своего выигрыша, но и к уменьшению выигрыша противника. При такой трактовке мотива указанная модель неантагонистического конфликта в наибольшей степени приближается к модели реального конфликта (именно эта идея и была отражена выше при построении формализованной модели неантагонистического конфликта с антагонистическим поведением игроков). Главный смысл мотива в реальном конфликте — достижение победы над противником, а не обеспечение максимального выигрыша.

Заметим, что в реальном конфликте мотивы редко встречаются в «чистом» виде, т. е. в реальном конфликте человеком управляет не один, а комбинация мотивов (сложный мотив). Так, например, в реальных конфликтах имеет место сложный мотив, характеризующийся стремлением игрока максимизировать как свой выигрыш  $a_{ij}$ , так и разность  $(a_{ij} - b_{ij})$ .

Введем показатель  $\beta$  (коэффициент индивидуализма), удовлетворяющий условию  $0 \leq \beta \leq 1$ . Тогда игрок, руководствуясь упомянутым выше сложным мотивом, стремится максимизировать выражение

$$\beta a_{ij} + (1 - \beta) (a_{ij} - b_{ij}). \quad (4.1)$$

Преобразуя (4.1), получим

$$a_{ij} - b_{ij} + \beta b_{ij}. \quad (4.2)$$

Анализ выражения (4.2) показывает, что, чем больше значение показателя  $\beta$ , тем сильнее мотив максимального выигрыша. При

$\beta = 1$  выражение (4.2) сводится к  $a_{ii}$ , что означает действие только мотива максимального безусловного выигрыша. При  $\beta = 0$  из выражения (4.2) следует, что игрок стремится к максимизации условного выигрыша.

Возникает вопрос: какой из личностных мотивов является доминирующим в играх с ненулевой суммой?

Полученные экспериментальные данные [87, 102] в какой-то мере раскрывают механизм мотивационной деятельности. Согласно этим данным, в играх с ненулевой суммой мотив соперничества (конкурентный мотив) доминирует над мотивом максимального выигрыша. В эксперименте игроки чаще стремились увеличить свой условный выигрыш, что означало выбор тех стратегий, которые позволяли одержать победу над противником. Заметим, что стратегии, снижающие безусловный выигрыш противника, при этом не снимались с повестки дня. Что касается формализованной модели реального конфликта (неантагонистическая игра с антагонистическим поведением игроков), то здесь, как показывают экспериментальные данные, доминирует сложный мотив, руководствуясь которым игроки пытаются максимизировать как безусловный, так и условный выигрыши. Говоря о мотивационной деятельности игроков в неантагонистических играх, следует помнить, что между людьми существуют индивидуальные различия. Они являются причиной того, что мотивы, управляющие поведением разных игроков в одной и той же игровой ситуации, могут быть не всегда идентичны. И здесь можно говорить об игроках, стремящихся к максимальному выигрышу («алчные» игроки), об игроках, стремящихся к достижению победы (игроки-спортсмены) и т. д. Хотя приведенные данные подтверждают сложную мотивационную деятельность человека, ее зависимость от структуры игры и индивидуальных особенностей игрока не подлежит сомнению. Из эксперимента ясно, что конкурентные мотивы в неантагонистических играх двух лиц если и не являются доминирующими, то тем не менее остаются очень сильными. Это утверждение является хорошим отправным пунктом для изучения психологических закономерностей в играх, формализующих ситуацию реального конфликта.

Из анализа экспериментальных материалов, характеризующих поведение человека в условиях конфликта, можно сделать ряд выводов.

1. Механизм мышления участника экспериментальных исследований реализует не тактику случайного выбора, а свою, человеческую логику поведения, которая обусловлена спецификой использования прошлого опыта. Этот вывод в какой-то мере должен «охладить» пыл тех исследователей, которые пытаются повсеместно, а вместе с тем односторонне «навязать» человеческому интеллекту вероятностный механизм мышления и применить для разгадки его тайн методы ряда наук, базирующихся на теории вероятностей.

2. Механизм мышления человека реализует не принципы нор-

мативных наук, а свои собственные, человеческие принципы, определяющие особенности поведения в ситуации конфликта. В этом плане разгадка тайн человеческого интеллекта лежит на пути раскрытия диалектического характера работы его механизмов мышления, выступающих основной причиной выбора неоптимальных решений.

3. В реальном конфликте человеческим поведением управляет не один мотив, а комбинация мотивов с соответствующей их иерархией. Основное влияние на выбор тех или иных решений оказывают доминирующие мотивы, под действием которых у данного человека формируются соответствующие принципы поведения. Поэтому человеку нельзя «навязать» извне принципы поведения, а их можно только сформировать в едином процессе обучения и воспитания, который представляет собой диалектический процесс разрешения противоречий между логическим и психологическим. Важнейшим и определяющим элементом психологического в таком процессе выступают индивидуальные вариации в активности, которые существенным образом детерминируют образование иерархии мотивов.

#### **4.3. Психическое взаимодействие в реальном конфликте**

Задача психологической науки определяется познанием тех закономерностей конфликта, которые присущи человеческой форме взаимодействия. Поскольку эта форма представляет собой психический процесс, то на первый план при изучении этого процесса выдвигаются свойства человека, характеризующие его как субъекта деятельности с конкретными (заданными) особенностями, возможностями и т. д. Но проявление человеческих свойств в рассматриваемом случае детерминируется наиболее общими закономерностями взаимодействия реальных объектов, о которых говорилось в первой главе. Отсюда следует, что закономерности психического взаимодействия целесообразно рассматривать в системе, построенной с помощью энерго-информационных связей, на пересечении которых лежат наиболее общие закономерности реального конфликта. Заметим, что по своей сути эта система является специфической физической системой, в которой объективно-реальное существование психического проявляется в виде «сил» взаимодействия.

Целесообразность такого подхода вызвана рядом обстоятельств. Во-первых, только в физической системе информационная связь может быть представлена как потенциальная, характеризующая наиболее существенные изменения в соотношениях между взаимодействующими субъектами. Обуславливая способы связи между ними, она детерминирует и способы их взаимодействия. Во-вторых, сама информационная (психическая) связь по своей сути выступает следствием преобразования внутренних структур субъектов, участвующих в конфликте. В изменении структур как

наиболее общем свойстве, присущим материальному миру, и скрыта та потенциальная основа, благодаря которой психическое отражение может быть представлено в виде «сил» взаимодействия.

Таким образом, в информационной связи отражаются как наиболее существенные изменения в отношениях между взаимодействующими элементами (игроками), так и наиболее существенные изменения во внутренних структурах этих элементов. Последнее является определяющим для характеристики их потенциальных возможностей. В свою очередь, потенциальные возможности противоборствующих субъектов неразрывно связаны с изменением форм психического отражения, что и находит свое проявление в «силах» взаимодействия (см. гл. 1). Поэтому при анализе «сил» взаимодействия основное внимание должно быть уделено тем аспектам, которые раскрывали бы эти «силы» как форму психического отражения.

Ранее отмечалось, что взаимодействие в конфликте осуществляется последовательностью элементарных актов принятия решений. Особая роль в процессах принятия решений принадлежит планированию. Именно в элементах планирования заключена суть отражательно-познавательной функции психического, выступающей важнейшим организующим началом всей взаимодействующей системы. Наиболее очевидный способ выработки решений в условиях конфликта, соответствующий элементарному уровню организации деятельности, заключается в выборе одного из ранее применявшихся типовых, стереотипных решений (работа по образцу или шаблону). Очевидность этого способа вовсе не означает его малую эффективность, поскольку в некоторых ситуациях конфликта типовое решение (типовой прием) может оказаться единственно правильным. Кроме того, если количество приемов, которыми овладел человек в процессе обучения, достаточно велико, то «противник» не сможет предугадать, какое именно решение будет принято в той или иной ситуации конфликта. Но даже и при ограниченном количестве приемов этот способ принятия решения может оказаться достаточно эффективным, если при обучении человека-оператора и планировании его деятельности удастся по-новому раскрыть сущность стереотипа, найти в нем нюансы, тонкости, которые ранее не были обнаружены.

Рассматриваемый способ принятия решений широко использовался в воздушных боях времен второй мировой войны [74], поскольку истребители того времени имели низкую информационную обеспеченность (всю информацию о противоборствующем противнике летчик получал по визуальному каналу). Необходимый набор тактических приемов отрабатывался в процессе учебных воздушных боев и при мысленном планировании различных вариантов боя. Эффективность этого способа принятия решений оказывалась достаточно высокой, если воздушный бой развивался по тем канонам, которые были приняты при его планировании. Если же происходили неожиданные события (противник применял

новый тактический прием, новые тактические построения и т. д.), то деятельность летчика могла быть значительно дезорганизована (чем неожиданнее ситуация, тем в большей степени оказывалась дезорганизованной деятельность летчика). Но здесь не следует забывать, что эффективность тактического приема определяется индивидуальными особенностями летчика, т. е. выполнение любого приема имеет индивидуальную «окраску». Это обстоятельство позволяло советским летчикам в период Великой Отечественной войны добиваться высоких результатов с помощью набора оригинально выполняемых, а следовательно, непредсказуемых для противника тактических приемов [74, 75].

Другой способ выработки решений в условиях конфликта состоит в синтезе решения из стереотипных и ассоциативных элементов. Идеологическая основа этого способа заключается в том, что как бы ни была нова и сложна ситуация конфликта, она всегда содержит составные части известных (стереотипных) ситуаций. В равной мере это относится и к новому решению, поскольку оно всегда содержит стереотипные и ассоциативные элементы. Формальная технология этого способа состоит в нахождении достаточно большой группы сходных решений и формировании различных их комбинаций с целью получения нового качества; причем новое решение строится как логическое объединение либо как логическое пересечение стереотипных (ассоциативных) решений. Венцом применения этого способа может явиться оригинальное, принципиально новое решение, основанное на новой идее.

Таким образом, в творческом отношении этот способ выработки решений значительно превосходит рассмотренный ранее способ (работу по образцу или шаблону). Однако для его реализации уже мало только мысленного планирования деятельности человека, т. е. планирования, основанного на внешней информации о закономерностях реального конфликта. Применение этого способа предполагает широкое внедрение технических средств, позволяющих моделировать различные ситуации конфликта. С помощью указанных средств человек-оператор не только осваивает известные приемы, находит новые, но и добивается «собственного видения» различных ситуаций реального конфликта, что равносильно получению информации (внутренней информации) о закономерностях противоборства динамических объектов. Чем выше информационная оснащенность человека-оператора, тем более вероятен его успех в данной ситуации конфликта. Но есть и другая сторона в применении технических средств. Речь идет о том, что обучение с помощью технических средств должно быть направлено на развитие интеллектуальной активности, характеризующей творческий потенциал человека-оператора, причем высшего уровня этой активности, называемого креативным [20]. Когда говорят о креативности, то имеют в виду такой способ выработки решений, используя который человек находит нужное (чаще всего, новое) решение путем реорганизации исходного материала (исходной информации), а не с помощью ассоциаций и шаблона. Именно креа-

тивный способ является основным «поставщиком» новых решений, приемов и т. д. Но обучение, направленное на развитие творческого потенциала человека-оператора, предъявляет ряд требований к техническим средствам, с помощью которых моделируется реальный конфликт. В первую очередь это касается объема и способов представления информации, которые должны формироваться с учетом психологических и профессиональных особенностей конкретного человека. «Язык» системы отображения информации должен обеспечивать simultaneity восприятия, что позволит в полной мере использовать возможности человека по переработке больших объемов информации. При этом восприятии «не страдает» интуиция, чувство нового и оригинального, человек-оператор «не перегружается» информацией, что характерно для успешной формы восприятия, реализованной в подавляющем большинстве технических средств обучения. Но simultaneity системы отображения информации предполагают решение отнюдь не простых теоретических и практических вопросов, связанных с закономерностями функционирования психики при обработке человеком больших объемов (массивов) информации. К этим вопросам можно отнести: как и каким образом нужно «сжать» явление или процесс во времени, как и что должно быть развернуто в пространстве, каковы временные границы этого развертывания и т. д.

Итак, из анализа способов принятия решений в реальном конфликте следует, что при наиболее простом и очевидном способе, предполагающим жесткое планирование, взаимодействие противоборствующих противников строится в основном на использовании внешней информации о ситуации конфликта, что соответствует наиболее низкому уровню организации деятельности человека-оператора. Что касается креативного способа принятия решений, то он предполагает более высокий уровень организации деятельности человека-оператора, поскольку взаимодействие в этом случае строится на активном использовании как внешней так и внутренней информации о закономерностях конфликта. Обратим внимание сразу же на информационную обеспеченность рассмотренных способов: в первом случае имеется в виду информация о ситуации, во втором — информация о закономерностях конфликта. Причем во втором случае рассматривается не только информация о закономерностях противоборства объектов (машин), но и внутренняя информация, обусловленная познавательной функцией психики, т. е. информация о закономерностях противоборства субъектов (игроков). Несомненно, что роль человека в этом случае оказывается определяющей, поскольку познание не есть акт простого, «зеркального» отражения ситуации конфликта в пассивном мозгу. На самом деле это отражение в активном, действующем, творящем, ищущем мозгу [96]. Полученная в результате взаимодействия субъектов (игроков) информация (внутренняя информация) кодируется в сознании в виде различных форм познания (суждений, гипотез, понятий и т. д.). Именно эта информация позволяет человеку-оператору успешно работать в условиях жесточайшего



дефицита внешней (объективной) информации, в условиях высокой неопределенности, источниками которой являются: объективная неопределенность изучаемых явлений (ситуация конфликта), неопределенность взаимодействия субъекта и объекта и неопределенность взаимодействия субъектов (игроков). Основной смысл деятельности человека-оператора в условиях конфликта, связанной с принятием решений и управлением динамическим объектом в сложных, быстро изменяющихся условиях, в условиях большой неопределенности, заключается в изыскании средств преодоления этой неопределенности, а основным источником этих средств является его внутренний мир.

Внутренняя информация, которая формируется у человека-оператора при креативном обучении, используется для прогнозирования окружающей действительности, на основе которого строятся и выбираются эффективные управляющие решения, т. е. прогнозирование важно не само по себе, а лишь как необходимое звено в системе управления. Исследования поведения живых существ показали [13, 96], что управление возможно лишь при наличии опережающего отражения, потребной модели будущего. Эта модель и служит той схемой, ориентируясь на которую, производится коррекция поведения, или, при возникновении трудностей, коррекция потребного будущего. Именно эта особенность человека, его сознания позволяет ему работать в условиях неопределенности, в условиях огромного дефицита информации. Именно в силу этой особенности человек значительно превосходит существующие ЭВМ при решении подобного рода задач.

Понимание прогнозирования как необходимого звена эффективного управления динамическим объектом, включая управление в ситуации конфликта, позволяет рассматривать его в качестве особого вида информации. Наиболее полно это отражено в семиотической модели прогнозирования, исходящей из взаимосвязи синтаксического, семантического и прагматического аспектов информации [73, 96]. В связи с представлением прогнозирования как особого информационного процесса возникает вопрос: можно ли в этом случае говорить об отражении?

Оказывается можно, если в качестве взаимодействующего объекта принять модель потребного будущего (прогностическую идеальную модель). В этом случае предвидение (прогнозирование) выступает как особенная форма отражения. Чем лучше информация (внешняя или внутренняя), тем лучше прогноз, тем больше сила взаимодействия, связывающая противоборствующие объекты, и меньше сила конфликта. В пределе при полной информации о фазовых состояниях противоборствующего объекта (идеальный случай) можно двигаться по детерминированной (оптимальной) траектории в точку встречи без запаса энергии для компенсации непредсказуемого движения противника: в этом случае сила взаимодействия (связи) достигает максимума, а сила конфликта (противоборства) равна нулю. Обратим внимание: ситуация возможна только в идеальном случае; в реальном случае, даже при существовании оптимальных траекторий (реше-

ний), запас энергии необходим, поскольку существует неопределенность поведения противников, являющаяся игровой по существу (антагонизм поведения), т. е. в реальном случае сила конфликта всегда отлична от нуля. При ухудшении информации эта тенденция, связанная с компенсацией дефицита информации ценой энергетических затрат, становится все более заметной. В конечном итоге именно эта тенденция становится причиной разрушения системы противоборствующих объектов, поскольку при возрастании энергетических затрат, т. е. силы конфликта, интенсивно стремится к нулю величина силы взаимодействия, силы связи. Как только сила взаимодействия (связи) окажется равной нулю, а это произойдет при максимальной силе конфликта, противники «потеряют» друг друга и взаимодействие прекратится (аналогичная ситуация складывается при полной потере информации, т. е. при разрыве информационной связи между противоборствующими противниками).

Из анализа указанной динамики формирования сил взаимодействия (связи) и сил конфликта следует, что креативный способ принятия решения по «информационной емкости» превосходит и способ жесткого планирования и ассоциативный способ, поскольку он опирается не только на внешнюю информацию о ситуации противоборства, но и главным образом на внутреннюю (субъективную) информацию человека-оператора. Но здесь вновь нужно сделать акцент на феноменологическое обучение, на обучение с помощью технических средств, которое позволяет сформировать у человека алгоритм использования прошлого опыта, основанный на апперцептивном восприятии, «творческий алгоритм», суть которого — поиск новых закономерностей и т. д. Человек должен понимать необходимость получения ценной для управления информации, уметь выбирать ее из большого объема информации, полученной при анализе объективных и субъективных закономерностей конфликта и, наконец, должен быть обучен рациональным приемам использования ценной информации для решения поставленных задач. Без понимания и решения этих вопросов человек остается на примитивном уровне принятия решений, т. е. на уровне, где используется жесткое планирование.

Эта мысль подтверждается результатами экспериментов. Так, операторам высокого класса, обученным способу принятия решений при жестком планировании, был предложен вопрос: изменятся ли ваши действия, если информация о противнике будет абсолютно полная (идеальный случай)? По форме ответ должен быть положительный, а суть его изложена выше, когда речь шла о формировании сил взаимодействия и конфликта. Но все, абсолютно все операторы ответили на этот вопрос отрицательно, т. е., по их мнению, действия не изменятся, а следовательно, они не зависят от объема, качества, ценности информации. Ответ несколько озадачивает, но только в первый момент. Если же вдуматься, то все становится понятным (по крайней мере, объяснимым). Человек, работающий на уровне жесткого планирования, не

понимает (его просто не научили понимать) важности и ценности информации, вытекающей из анализа объективных и субъективных закономерностей противоборства; вся информация, которая ему необходима, сводится к информации для выбора «домашних заготовок», а эта информация у него почти всегда есть. И здесь резонно мнение оператора: если у меня достаточно информации для принятия эффективных решений, то для чего ее увеличивать? Именно это явилось причиной отрицательного ответа операторов в эксперименте. Но здесь хотелось оттенить другую сторону вопроса: человек, обученный принятию решений при жестком планировании, не сможет воспользоваться дополнительной (пришедшей извне) информацией. Это возможно только в том случае, если человек будет работать на креативном уровне. Отсюда следует, что информационная обеспеченность решений должна идти параллельно с обучением операторов новым, современным, творческим способам принятия решений в сложных ситуациях реальной действительности, включая ситуацию конфликта.

Когда мы говорили о детерминированности психических явлений, то имели в виду два вида условий: условия, определяющие закономерности отражательного процесса как такового (а точнее, закономерности, обусловленные совместным «действием» взаимодействия и отражения), и условия, определяющие закономерности, связанные со спецификой отражательного процесса. Если первые являются по своей сути внешними условиями и определяют требования к самой отражательной деятельности, то вторые, являясь внутренними условиями, определяют эффективность (информативность) отражательного процесса. Практика и экспериментальные исследования показывают, что конечная эффективность деятельности человека-оператора в условиях конфликта во многом определяется именно спецификой (качественными особенностями) отражательного процесса, которая в значительной мере усиливает детерминирующие возможности внешних условий. В частности, в реальном конфликте специфика отражательного процесса проявляется в особенностях познания окружающей действительности с помощью основных закономерностей конфликта, позволяющих оценить обстановку и принять адекватное решение на основе не только настоящих или прошлых, но и будущих, т. е. еще не наступивших событий. Указанные особенности познания, определяемые качественными особенностями отражательного процесса, позволяют объяснить поведение конкретного человека в конкретной ситуации конфликта. Качественная природа отражательного процесса имеет принципиальное значение при формировании сил взаимодействия, о чем говорилось выше. На любом уровне принятия решений успех или неуспех в конкретной ситуации конфликта в первую очередь определяется качественными особенностями практического интеллекта человека-оператора, качественными особенностями отражательного процесса. Заметим, что при креативном способе принятия решений,

основанном на знании объективных и субъективных закономерностей конфликта, указанная зависимость становится заметнее. Подчеркивая необходимость изучения качественной природы отражательного процесса, определяющего существование информационной связи между противоборствующими противниками, мы должны помнить, что решение этой задачи потребует рассмотрения как общих закономерностей, свойственных отражательной деятельности всех людей, так и специальных, которые присущи лишь конкретной деятельности. С. Л. Рубинштейн отмечал, что наличие в психической деятельности относительно устойчивого ядра не исключает существование в нем и более подвижных компонентов, зависящих от частных условий, в которых осуществляется деятельность [92]. Скорее всего именно подвижными компонентами в основном определяется качественная сторона отражательного процесса в деятельности человека.

Из сказанного следует, что практическое мышление (интеллект) человека-оператора, участвующего в конфликте, определяется не только и не столько общими, сколько специфическими закономерностями отражательного процесса. Причем эта тенденция проявляется все более заметно на «творческих» уровнях принятия решений. Так, при креативном способе роль человека становится определяющей при решении сложных задач, возникающих в ситуации конфликта (происходит «сдвиг» в область интеллекта). Успех в этом случае определяется не наличием прошлого опыта, и даже не наличием ассоциативных связей, а способом использования прошлого опыта и ассоциативных связей для построения моделей будущего, поиска закономерностей, выбора эффективных решений, т. е. способом мышления конкретного человека-оператора. Вопрос о способах мышления, о механизмах, лежащих в основе того или иного способа, имеет принципиальное значение при изучении любой деятельности человека, не говоря уже о деятельности человека-оператора в ситуации конфликта. В какой-то мере ответ на этот вопрос может быть получен (а точнее, намечен) с помощью введенного С. Л. Рубинштейном понятия «конструкции», устанавливающей взаимосвязь и взаимозависимость функции от структуры [91].

Развивая павловское учение о локализации в его более специфическом смысле, С. Л. Рубинштейн писал, что основу психического развития человека составляет процесс «слития» функции со структурой, объединяющей их в «конструкцию». Причем их объединение базируется не только на зависимости функции от структуры, но и на обратной зависимости, суть которой состоит в том, что образующиеся в процессе «слития» функциональные связи откладываются в самой структуре, т. е. формирование структуры само обусловлено функцией. Данная мысль интересна не только тем, что ставит любое психическое явление в зависимость от его материального субстрата, но и тем, что позволяет выяснить роль общих и частных свойств человека с диалектических позиций, т. е. с позиций, позволяющих подойти к процессу «слития»

функции со структурой со стороны разрешения соответствующих противоречий. В первую очередь имеются в виду противоречия между функцией и ее структурой, обуславливающей те психические процессы, посредством которых она реализуется. В этом случае о качестве «конструкции» можно судить по степени разрешения основных противоречий, раскрывающих не только процесс образования функциональных связей, но и их качественное своеобразие, которым в конечном итоге обуславливается наиболее существенная зависимость функции от структуры.

Идеи использования структурно-функциональной динамики для изучения психической деятельности человека развиваются в работах Н. П. Бехтеревой [17, 18]. Она говорит, что основой организации обеспечения психической деятельности служит корково-подкорковая структурно-функциональная схема со звеньями разной степени жесткости [18]. Речь идет о жестких и гибких звеньях, где жесткие звенья, объединенные в систему, обеспечивают экономичность в работе мозга, а гибкие звенья определяют возможность (богатство возможностей) протекания деятельности в различных условиях.

Подход, основанный на структурно-функциональной динамике, может с успехом использоваться не только для изучения психической деятельности человека в целом, но и может явиться необходимым условием и инструментом познания закономерностей развития свойств и качеств человека, т. е. его способностей. Но здесь зависимость функции от структуры должна изучаться не только как процесс образования функциональных связей, но и как процесс формирования их качественного своеобразия. В свою очередь, качественное своеобразие должно изучаться и как зависимость структуры от функции, детерминирующая процесс развития требованиями конкретной деятельности, и как зависимость от тех частных свойств, качеств человека, которыми детерминируются специфические закономерности этого развития (процесса). Указанные закономерности оказывают непосредственное влияние на процесс разрешения противоречий, с помощью которого достигается полное соответствие внутренних психических условий требованиям конкретной деятельности. Способ разрешения противоречий в этом случае определяет ту реальную основу, на которой формируется своеобразие функциональных связей, отличающих одного человека от другого, и может быть принят в качестве критерия, характеризующего уровень развития «конструкции». Отсюда следует, что изучение частных свойств человека нужно проводить во взаимодействующей системе, которая позволяет проследить их развитие как развитие способов взаимодействия, как развитие способов разрешения противоречий.

## ОЦЕНКА ПСИХОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ И ПРОФЕССИОНАЛЬНО ВАЖНЫХ КАЧЕСТВ ЧЕЛОВЕКА-ОПЕРАТОРА

### 5.1. О качественных особенностях человека-оператора, участвующего в конфликте

Психологическая теория принятия решений (тем более в ситуации конфликта) не может быть построена без обращения к личности человека, к его индивидуальным особенностям, свойствам, качествам и т. п. К этому выводу приходит большинство специалистов, работающих в области нормативной теории принятия решений. Так, О. И. Ларичев [51] замечает, что принятие решений было и будет искусством. Следовательно, человек, мало способный к этой деятельности, всегда будет уступать человеку, обладающему талантом к анализу проблем и решительностью в принятии решений. Подтверждению и развитию этой мысли в той или иной мере был посвящен практически весь материал гл. 4.

Проблема способностей — одна из наиболее сложных в психологии. Сущность и структура способностей, выявление способностей и условий (факторов) их развития, оценка степени соответствия способностей характеру выполняемой деятельности — вот далеко не полный перечень вопросов, которые стоят в настоящее время, как никогда, остро и решение которых имеет несомненный практический интерес. В конечном счете проблема способностей и сопутствующие ей вопросы интегрируются в проблему эффективности человеческой деятельности при решении задач управления объектами различной природы, включая управление в ситуации конфликта. Изучая проблему способностей, исследователь непременно сталкивается с вопросом: что происходит с деятельностью, когда в нее «включаются» способности?

Жизненный опыт и многочисленные исследования [14, 30, 53, 76, 97, 98] показывают, что включение способностей индивида в деятельность «переводит» ее на качественно новый уровень, обеспечивающий успешное овладение деятельностью и ее дальнейшее осуществление. Способность к деятельности характеризуется умением выявить диапазон условий, в котором данная деятельность может быть реализована с максимальной эффективностью, включая выбор благополучного момента для ее начала. Не менее важное, специфическое назначение способностей индивида состоит в предвосхищении новой деятельности [54, 55]. Именно в этом можно видеть специальную задачу способностей: в движении, изменении, преобразовании последующей индивидуальной деятельности.

В обыденной жизни о способностях судят лишь опосредованно, сравнивая уровень овладения деятельностью одним человеком с уровнем ее овладения другими людьми. При этом оказывается необходимым анализ условий жизни человека, его обучения и воспитания, а также его жизненного опыта в овладении данной деятельностью. Понимание того, что труд сформировал человека и его свойства, определяет методологическую сущность способностей и связывает способности с процессом труда (индивидуального и общественно-исторического), рассматривая их как его производное. Развивая эту мысль, В. Н. Мясищев [69] отмечал, что говоря математическим языком, труд является независимой и определяющей величиной, а способность является зависимой переменной, функцией труда. Ясно, что способнее следует считать того человека, у которого результаты труда (деятельности) легче достигнуты, качественно они лучше, количественно их больше. Причем высокая результативность, продуктивность деятельности определяется не столько развитием отдельной (частной, локальной) способности или даже нескольких способностей, сколько качественно своеобразным сочетанием частных способностей. По поводу этого Б. М. Теплов писал, что «отдельные способности не просто сосуществуют рядом друг с другом и независимо друг от друга. Каждая способность изменяется, приобретает качественно иной характер в зависимости от наличия и степени развития других способностей. Исходя из этих соображений, мы не можем непосредственно переходить от отдельных способностей к вопросу о возможности другой деятельности. Этот переход может быть осуществлен только через другое, более синтетическое понятие. Таким понятием является «одаренность», понимаемая как то качественно-своеобразное сочетание способностей, от которого зависит возможность достижения большего или меньшего успеха в выполнении той или другой деятельности» [95].

Иными словами, проблема способностей деформируется в проблему одаренности, которая предполагает изучение не отдельных способностей, а их взаимодействия и объединения (интеграции) на основе требований конкретной деятельности. Раскрытие указанных психологических феноменов — важный момент качественного анализа одаренности и методологии способностей вообще. Закономерности взаимодействия и интеграции способностей чрезвычайно важны не только для понимания одаренности как психологического явления, но и для познания природы реального конфликта, его сущности.

Но введение нового слова («одаренность» вместо «способность») вряд ли проливает свет на истоки развития способностей, на механизм формирования качественного своеобразия способностей, т. е. одаренности. Ведь сами по себе способности также представляют сложные синтетические образования, например: наблюдательность; способность усваивать опыт, накопленный другими операторами; способность по-новому синтезировать

элементы наблюдаемого и усваиваемого; способность расчленять явления на составляющие элементы; способность видеть явления с разных точек зрения; способность отойти от выработанного стереотипа; способность перестраивать систему знаний (тезаурус) в связи с накоплением новых фактов; способность к рефлексивному поведению и т. п. Из перечисленных способностей, пожалуй, только последняя требует некоторого пояснения, да и то лишь потому, что она имеет непосредственное отношение к рассматриваемому нами случаю управления в ситуации противоборства. Эта способность предполагает: встать на точку зрения противника, оценить ситуацию конфликта «за противника» (рефлексия) и далее выработать и принять такие решения, которые оказались бы совершенно неожиданными для противника, а может быть, с его точки зрения, и невозможными. Все это так, но каковы причины формирования такой нужной и важной для человека, участвующего в конфликте, способности? Каковы истоки сил, формирующих другие способности человека? И наконец, какова динамика формирования качественного своеобразия способностей, необходимого для удовлетворения требованиям конкретной деятельности?

Анализируя методологические и психологические вопросы и проблему способностей в целом, В. Н. Мясищев обратил внимание на важную роль в формировании способностей активного и положительного отношения к деятельности, так называемой склонности к определенному виду деятельности и тесно связанного с этим настойчивого трудового усилия в данной области [69]. Склонность (интерес, влечение, потребность) поставлена им на первое место в последовательности компонентов (труд, условия овладения деятельностью, результаты проявления способностей), определяющих выявление способностей. И далее: интерес, увлечение, любовь к той или иной форме деятельности являются условием и залогом ее успешности [69]. Постоянно подчеркивая теснейшую, глубокую, интимную связь между склонностями и способностями, В. Н. Мясищев предлагает заменить формально-функциональное безличное понимание способностей содержательно-личностным, учитывающим не только функциональную характеристику человека, но и его избирательное отношение к деятельности.

Когда говорят о мотиве, то прежде всего имеют в виду его потребностную суть, т. е. рассматривают его как побуждение к деятельности. «Конструирование» конкретной деятельности (регулятивная сторона деятельности) возлагается на другие психологические образования, к которым относятся: цель, установка и т. д. Но ряд психологов [42, 69] подходит к пониманию мотивов более широко (и не без оснований), оставляя за ними не только потребностную, но и регуляторную функцию деятельности (эту позицию разделяет и автор). Так, В. Н. Мясищев писал, что мотив как основание действия, решения или усилия является не чем иным, как выражением отношений к объекту



действия, выступая субъективно как желание, стремление, потребность, сознание долга, необходимость [68]. Еще более определенно по этому поводу мнение Ф. Кликса: мотивация включает в себя как потребностные, так и регуляторные моменты [42]. Здесь мотивация понимается как самоинструментирование к достижению цели. Именно при всестороннем рассмотрении мотивации, включая ее регуляторную функцию, могут быть вскрыты механизмы оценки эффективности, качества принятых решений и их коррекции. Ф. Кликс полагает, что мотивация способна использовать когнитивные модули (умозаключения по аналогии) подобно инструментам, позволяющим при правильном их применении добиться определенных целей с высокой эффективностью. Те же самые модули в иных комбинациях приведут к решению другой задачи, но процесс достижения цели в этом случае может оказаться менее эффективным и управляемым. Такое понимание мотивации хорошо согласуется с мнением К. К. Платонова, который понимал под мотивацией не только процесс действия мотива, но и совокупность стойких мотивов при наличии доминирующего, выражающая направленность личности, ценностные ориентации и определяющая ее деятельность [77].

Из сказанного следует, что мотивация представляется сложным психологическим явлением, складывающимся, формирующимся под влиянием как наследственности, так и среды, понимаемой в самом широком смысле этого слова. Диалектическое взаимодействие указанных факторов порождает у мотивации новое качество, которое определяется иерархией (структурой) соответствующих мотивов и проявляется у человека в иерархии принципов ее поведения. Не мотив, не группа мотивов, а именно иерархия, понимаемая как качественно новое и устойчивое структурное образование, не только определяет поведение индивида в социальной среде, но существенно влияет на эффективность конкретной деятельности (этот вывод тем более справедлив, чем более творческой оказывается деятельность индивида).

Если вернуться к принципу взаимодействия, который был использован при рассмотрении методологических, математических и психологических вопросов противоборства, то с точки зрения этого принципа мотивация представляет собой второй элемент взаимодействующей системы (первым элементом этой системы являются способности). Тогда развитие способностей может быть представлено как процесс разрешения противоречий между способностями и мотивацией, в котором происходит не только развитие частных (локальных) способностей, но и формирование их качественного своеобразия, т. е. одаренности. В этом случае одаренность может пониматься как предпочитаемая с точки зрения данной мотивации форма организации (внутренняя организация содержания, структура) частных способностей. Вполне реальна ситуация, когда специфическое (своеобразное) сочетание способностей оказывается приспособленным в наибольшей степени для решения определенного класса задач, для выполнения конкрет-

ной деятельности (возникает как бы «сродство, взаимная симпатия» между одаренностью и требованиями конкретной деятельности). Эта ситуация хорошо иллюстрируется работами В. А. Крутецкого, изучавшего математические способности школьников [50]. Им показано, что у способных к математике учеников имеет место аналитико-синтетическое восприятие и осмысливание математического материала. Мышлению таких учеников свойственно: широкое обобщение «с места»; тенденция использовать «свернутые» структуры; большая подвижность познавательных процессов; стремление к ясности, простоте и экономичности («изяществу») решения. У школьников, имеющих «математический склад ума», есть своеобразная склонность и умение находить логический смысл во многих явлениях реальной действительности. Иными словами, у них уже в раннем возрасте наметилась тенденция воспринимать многие явления через призму логических и математических отношений. Далеко не всегда такая ситуация возникает в реальной жизни; чаще имеет место другая картина, когда между требованиями конкретной деятельности и одаренностью имеет место «рассогласование» (порой существенное), что говорит либо о «скудности» частных способностей, либо о «слабости» мотивационного компонента. Но если все-таки такая ситуация возникает — это верный признак и необходимое условие появления высокоодаренной личности (речь идет о ситуации, в которой не предусмотрено мероприятий для коррекции элементов взаимодействующей системы, т. е. процесс формирования одаренности происходит спонтанно, сам собой, «от природы»).

Анализируя процессы, происходящие в системе «мотивация—способности», анализируя роль и значение каждого из компонент, нетрудно установить, что «инициирующим» элементом в системе является мотивация. Именно мотивация определяет начало процесса развития способностей (процесса взаимодействия, процесса разрешения противоречий), поскольку трудно представить себе его существование при «нулевой» мотивации, градиент этого развития, и существенным образом влияет на уровни развития способностей. В. Н. Мясищев подчеркивал, что без склонности нет подлинной способности и глубокая склонность всегда выражается тем высоким уровнем продуктивности, который позволяет говорить о способностях [69]. Чем в более раннем возрасте проявляется склонность к конкретной деятельности, тем «больших вершин», как правило, достигает данный индивид в овладении ею, тем более высокой оказывается его продуктивность. Так, склонность И. Е. Репина к изобразительному искусству, проявившаяся очень рано, выражалась как страсть, как активно-действенная потребность в деятельности [9]. Но опираясь только на потребностную сущность мотивации, нельзя в полной мере понять динамику развития способностей и одаренности, т. е. динамику перехода психического процесса в психическое свойство (качество), психических свойств в частные (локальные) способности, частных способностей в одаренность.

Это можно понять лишь при учете основного условия указанного выше перехода, которым является способ разрешения противоречия, способ взаимодействия мотивации и частных способностей. Вне способа построения действия (взаимодействия) нельзя говорить о собственно потенциальном свойстве способностей — об их уровнях и о формировании качественного своеобразия частных способностей, т. е. одаренности.

Из сказанного вовсе не следует, что способности пассивны: являясь вторым элементом системы и активно взаимодействуя с мотивацией, способности определяют потенциальные уровни развития, являются «материалом», из которого формируется одаренность и, наконец, отражая требования среды, участвуют в формировании способа взаимодействия с реальной действительностью, способа осуществления конкретной деятельности, способа принятия решений в конфликтной среде (для рассматриваемого нами случая). Но не только в этом суть способностей как элемента взаимодействующей системы. Развиваясь под воздействием мотивации, способности оказывают достаточно сильное обратное воздействие, поскольку являются «материальной основой», на которой строится иерархия мотивов. Чем выше потенциальные возможности развития способностей, чем выше их уровни и больше их множество, тем более вероятно появление иерархии мотивов, обеспечивающей формирование такой одаренности, которая бы в полной мере удовлетворяла требованиям конкретной деятельности.

С развитием способностей, при достижении ими определенного уровня возможна перестройка иерархии мотивов, включая смену доминирующего мотива (в этом случае способности выступают в качестве внутренней причины перестройки мотивов), обеспечивающая более высокий уровень деятельности данного индивида. Тогда феноменологическая картина взаимодействия может быть следующей. Способности, являясь более подвижным элементом системы, вступают во взаимодействие с менее подвижным, но более активным элементом — мотивацией. В процессе разрешения противоречий происходит их развитие и формирование качественного своеобразия частных способностей, т. е. одаренности. Не следует здесь забывать и о другой причине развития способностей, связанной с разрешением противоречий (взаимодействием) между частными способностями.

Достигнув определенного уровня развития, способности, с одной стороны, обеспечивают формирование одаренности, более полно удовлетворяющей требованиям конкретной деятельности, а с другой — являются внутренней причиной перестройки иерархии мотивов, что способствует переходу данного индивида на качественно новый уровень взаимодействия с реальной действительностью (напомним, что причины перестройки мотивов могут быть и внешними). Этот уровень обеспечивается качественно новым сочетанием частных способностей, т. е. одаренностью, что позволяет достичь более высокой продуктивности (эффектив-

ности) конкретной деятельности. Вместе с тем этот уровень способствует расширению диапазона развития частных способностей и обеспечивает более полную реализацию их «потенциала». Такова в общих чертах динамика взаимодействия мотивации и способностей, диалектика их развития. Изложенная точка зрения на процессы, происходящие во взаимодействующей системе «мотивация—способности», не претендует на фундаментальность (автор допускает множество более адекватных взглядов на развитие способностей), но она позволила провести отбор операторов и формирование групп для проведения экспериментальных исследований.

В зависимости от соотношения мотивации и способностей множество индивидов, включая операторов, участвующих в конфликте, может быть разделено на несколько групп. В первую группу (группу А) входят высокомотивированные индивиды, имеющие к тому же высокие возможности (задатки) развития способностей к данному виду деятельности. Поскольку склонность (иногда страсть) появляется у них в раннем возрасте, то это в сочетании с высокими возможностями представляет необходимое и достаточное условие появления высокоодаренной личности. Этот вывод в полной мере относится не только к творческим личностям (композиторам, художникам, ученым и т. п.), но и к операторам, управляющим динамическими объектами (спортсменам, летчикам гражданской авиации и т. п.). В плане психологической и педагогической коррекции эта группа оказывается наиболее благополучной, поскольку развитие индивидов из этой группы и превращение их в высокоодаренные личности происходит за счет внутренних ресурсов, т. е. в результате разрешения противоречий между высокой мотивацией, сформированной в раннем возрасте, и высокими возможностями (задатками), данными «от природы». Динамика развития здесь такова: высокая мотивация в полной мере реализует потенциал возможностей, превращая их в частные способности высокого уровня, а уже из них с помощью способа взаимодействий, способа построения действий формируется качественное своеобразие, т. е. одаренность (причем все это происходит без вмешательства из «вне»). В количественном отношении, если принять во внимание все множество индивидов, участвующих в конкретной деятельности, группа А является очень малочисленной.

Во вторую группу (группу Б) входят высокомотивированные индивиды, имеющие низкие возможности (задатки) развития способностей к данному виду деятельности. Даже под воздействием высокой мотивации у данного индивида не удастся сформировать качественное своеобразие способностей, т. е. одаренность, которая обеспечивала хотя бы удовлетворительный уровень выполнения конкретной деятельности. Очень редко создавшуюся ситуацию понимают сами индивиды, входящие в группу Б; еще реже они самостоятельно «переключаются» на другую деятельность, в которой продуктивность их труда оказывается выше

(к таким индивидам относятся спортсмены, летчики и т. п.). Для указанной группы требуется вмешательство «из вне», т. е. требуется психологическая и педагогическая коррекция с целью формирования внешних причин перестройки иерархии мотивов, а следовательно, дополнительных (внешних) ресурсов развития индивида. Диагностировать индивидов группы Б не так уж трудно, поскольку диссонанс между мотивацией и способностями проявляется у них очень рано, еще в детском возрасте. Нередко этот диссонанс является результатом повышенной активности детей и подростков, когда они стремятся играть на сцене, танцевать, читать стихи, выступать с докладами при полном отсутствии способностей к этим видам деятельности. И здесь нужна кропотливая работа учителей, психологов, родителей, нужен большой педагогический такт, чтобы показать истинные возможности человека, сформировать и направить склонность в то русло, где будет обеспечена наибольшая продуктивность.

Если задачу формирования новых источников активности, перестройки иерархии мотивов решить удалось, то подросток вступает во взрослую жизнь с рациональным для данной деятельности соотношением мотивации и способностей (в пределах при высоких способностях индивид может перейти в группу А). Если перестройка иерархии мотивов не удалась, то случай оказывается менее привлекательным: подросток так и вступает в жизнь с высокой мотивацией и низким уровнем способностей к данному виду деятельности. Такое соотношение мотивации и способностей в конечном итоге (по мере взросления) приводит к неудовлетворенности деятельностью и как результат — к поиску побочных видов деятельности (хобби). Очень часто оказывается, что индивид из группы Б в побочной деятельности находит свое призвание. Но имеет право на жизнь (примеров этому предостаточно) и другой случай, когда из-за своей повышенной активности индивиды из группы Б добиваются значительных постов (слово «успехи» здесь будет неуместно), причем в таких сферах человеческой деятельности, как наука и управление (участие их в этих сферах, как правило, оказывается разрушительным). О подобных людях хорошо сказал Фазиль Искандер [38]: «Я часто замечал, что люди глупые и одновременно лживые нередко проявляют умную находчивость... Хотя у глупого человека сил мало, но, умея мгновенно собрать их в единую точку, он добивается на этой точке преимущества. Пока умный оппонент соображает, что к чему, лжец вывернулся — и ушел. Он хороший полководец своих малых умственных сил» [38, с. 9]. В количественном отношении группа Б превосходит группу А; но группа А может пополняться за счет индивидов из группы Б при условии перестройки их мотивационной сферы с помощью методов психологической, педагогической и психотерапевтической коррекции.

В третью группу (группу В) входят индивиды с умеренной мотивацией и хорошими (умеренными) возможностями для развития способностей к данному виду деятельности. В количественном

отношении группа В значительно превосходит группы А и Б (в реальной жизни встреча с индивидом из группы В наиболее вероятна). С точки зрения применения методов педагогической и психологической коррекции эта группа наиболее благополучна (по крайней мере, так кажется на первый взгляд), но если сформировать у наиболее способных индивидов группы В высокую мотивацию, то часть из них может перейти в группу А.

В четвертую группу (группу Г) входят индивиды с низкой мотивацией и хорошими (умеренными) возможностями для развития способностей к данному виду деятельности. Основная особенность индивидов этой группы состоит в частой смене интересов к различным видам деятельности, что является следствием легкости формирования доминирующего мотива и перестройки структуры (иерархии) мотивов («распыляющиеся» личности). Работа в режиме «переключения» способствует накоплению знаний, формированию навыков и умений, что обеспечивает определенный (вполне приемлемый) уровень выполнения конкретной деятельности. Этот режим является условием развития общего кругозора индивидов из группы Г (они знают «все обо всем», но глубоко «мало о чем»), что порой приводит к ложному их восприятию как способных и даже высокоодаренных личностей. На самом деле эти индивиды из-за частой смены «поля деятельности» не могут в полной мере реализовать свой потенциал развития, т. е. свои возможности развития способностей к конкретному виду деятельности. Поскольку «внутренних ресурсов» у индивидов из группы Г оказывается недостаточно, то для формирования устойчивой структуры мотивов, которая способствует повышению эффективности деятельности, необходимо использовать помощь «из вне», т. е. педагогическую и психологическую коррекцию. По численности группа Г соперничает с группой Б, значительно уступая группе В.

В пятую группу (группу Д) входят индивиды с низкой мотивацией и низкими возможностями для развития способностей к данному виду деятельности. По численности эта группа не такая уж малая; ее появление можно объяснить низкой эффективностью профориентационных мероприятий. С точки зрения педагогической и психологической коррекции, включая профотбор и профориентацию, эта группа наименее благополучная.

Предложенная классификация, не претендуя на свою исключительность, позволяет наметить пути изучения такого сложного феномена, каким является одаренность, и выявить особенности психологического механизма ее формирования в различных группах. Если говорить о последовательности изучения одаренности, то на первом этапе необходимо определить конкретно-психологические качества индивида («набор» частных способностей, структуру одаренности), которые отвечают требованиям данной деятельности как обязательное условие ее успешности. Только после детального качественного анализа частных способностей и одаренности можно приступить к выяснению того,

в какой мере данный индивид способен выполнить требования, предъявляемые деятельностью, насколько быстрее, легче он овладевает знаниями, навыками и умениями по сравнению с его товарищами по работе, что характеризует количественно уровень способностей и одаренности. Информация для качественного анализа способностей может быть получена из различных источников, к которым относятся: опрос опытных специалистов с помощью анкет, беседы с опытными специалистами, наблюдения за работой специалистов в реальной деятельности, наблюдения за работой специалистов в экспериментальных условиях, биографические материалы крупных специалистов и т. д. В нашем случае использовался анкетный опрос операторов высокого класса о тех качествах личности (субъекта деятельности), которые обеспечивают успех при управлении динамическим объектом в ситуации конфликта (на различных этапах проводился опрос различных категорий операторов: игроков в мотобол (основной вариант), мотогонщиков, автогонщиков, бобслеистов, летчиков гражданской авиации и т. д.). Всего было опрошено более 200 операторов высокого класса. С целью повышения объективности ответов все вопросы анкеты (перечень личностно-профессиональных качеств, прогнозируемые ответы и т. д.) были сформулированы в результате бесед с наиболее опытными операторами. Одновременно с прогнозируемыми ответами, отражающими качественные особенности человека — оператора, предлагались вопросы, характеризующие основные условия проявления его способностей. Последнее повышало объективность исследований, поскольку позволяло выявить не только функциональную, но и процессуальную сторону развития способностей. Кроме того, в каждом пункте анкеты операторам была предоставлена возможность выразить свое мнение, если оно расходилось с предложенными ответами.

Первый вопрос касался тех качеств, которые формируют оператора высокого класса. В качестве прогнозируемых ответов были предложены: опыт (количество гонок, заездов, полетов и т. д.), психологические особенности и физические возможности. Операторы в своих ответах должны были распределить предложенные ответы по степени важности.

Из данных опроса следует, что опыт является важнейшим фактором формирования профессионально важных качеств человека-оператора высокого класса, особенно на начальном этапе его деятельности. В первую очередь это мнение разделяют молодые операторы: 74 % из них на первое место поставили опыт, 22 — психологические особенности и только 4 % — физические возможности. Однако по мере накопления опыта все большее число операторов начинают убеждаться в том, что дальнейший рост индивидуального мастерства существенно зависит от специальных способностей. Этот вывод подтверждается результатами опроса опытных операторов: уже только 48 % из них отдали предпочтение фактору «опыт», но 32 поставили на первое место психологические особенности и 20 % — физические возмож-

ности. С повышением квалификации операторов, с накоплением их опыта эта тенденция становится все более заметной. Более того, при опросе выявилось достаточно устойчивое мнение о том, что эффективность деятельности человека-оператора в условиях конфликта зависит от его способностей в большей степени, чем от возможностей техники (качеств управляемых динамических объектов).

Ранее было показано, что психическая организация деятельности человека-оператора базируется на мысленном планировании и регулировании на его основе всего комплекса решений и действий, предпринимаемых в ситуации конфликта. Поскольку важная роль в планировании принадлежит процессам антиципации, то ведущая роль в формировании оператора высокого класса принадлежит способностям по предугадыванию действий противника. Учитывая, что процесс деятельности человека-оператора в ситуации конфликта весьма динамичен, постоянно связан с принятием решений в сложных и быстро изменяющихся условиях, т. е. в условиях большой неопределенности, им, кроме ответа «способность предугадывать поведение противника», был предложен ответ «скорость реакции в различных ситуациях конфликта». Кроме того, высокая динамичность ситуации конфликта требует повышенного уровня сенсорной и интеллектуальной активности, которым определяются требования к устойчивому, избирательному и направленному характеру психической деятельности или вниманию. Высокий уровень распределения и переключения внимания, устойчивости внимания — обязательное условие успешности выполнения почти любой современной деятельности, тем более такой сложной, как деятельность человека-оператора в ситуации конфликта. Поэтому фактор «внимание» был предложен в качестве третьего прогнозируемого ответа.

Анализ результатов анкетирования позволяет оценить не только особенности «индивидуальных» моделей конфликта, но и динамику развития психологических качеств человека-оператора в зависимости от уровня подготовки (и не только оценить, но и подтвердить ряд теоретических положений, высказанных выше). Так, способность предугадывать поведение противника считают важнейшим психологическим качеством от 48 до 80 % молодых операторов (в зависимости от типа динамического объекта). А именно это качество рассматривалось нами как определяющее в планировании деятельности человека-оператора. По мере накопления опыта все большее число операторов начинают отдавать предпочтение другому фактору, а именно: скорости реакции в различных ситуациях конфликта. Если этому психологическому качеству отдали предпочтение только 28 % молодых операторов, то 46 % опытных операторов и 71 % операторов высшей квалификации поставили его на первое место. Эти данные подтверждают мысль о динамичности психических явлений, о развитии способностей и формировании одаренности в процессе деятельности.



Из сказанного следует, что если основное свойство любого интеллекта определяется способностями к прогнозу (экстраполяции), то основное свойство интеллекта человека-оператора, деятельность которого проходит в ситуации конфликта, состоит в способности осуществлять прогноз в условиях крайне жесткого лимита времени. Эффективность этой операции в первую очередь определяется способом работы человека-оператора в условиях неопределенности. Именно этот способ в значительной степени детерминирует информационную подготовку принимаемых решений, т. е. этап «предрешения» [13], на основе которого производится выбор действия, адекватного прогнозируемой ситуации.

Естественно, что способность к прогнозированию будущей ситуации предполагает умение отобрать для этой цели необходимую информацию. Чем выше способность к прогнозу у данного оператора, тем более качественную и ценную информацию он может отобрать для решения задач конфликта. Результаты опроса показали, что мнение операторов о ценности информации очень сильно разделились, что позволяет говорить о многообразии и своеобразии способов получения необходимой информации в ситуации конфликта. Кроме того, на основании результатов опроса выявилась и такая закономерность: по мере накопления опыта все большее число операторов переходит на интегральные параметры в получении необходимой информации, что позволяет в процессе принятия решений обрабатывать большие массивы данных.

Динамичность психических процессов и их зависимость от орудий деятельности подтверждают и другие данные опроса. Так, фактору «внимание» на первом этапе опроса отдавали предпочтение около 25 % операторов. Но стоило только изменить условие опроса (изменить энергетические возможности объекта, а информационные возможности оставить на прежнем уровне), как у операторов появился повышенный интерес к фактору «внимание» (доля операторов, отдающих предпочтение этому фактору, увеличилась до 40 %). Несоответствие информационных и энергетических возможностей динамического объекта повлияло и на отношение к «подсказке»: операторы в этом случае оказались более заинтересованными в получении дополнительной (внешней) информации на различных этапах конфликта. Указанная деформация интересов объясняется возникшими трудностями на этапе информационной подготовки решения (предрешения), т. е. на этапе информационного взаимодействия, который является основным видом взаимодействия в реальном конфликте. Энергетическое взаимодействие, как правило, сопровождается ростом неопределенности, что неизбежно приводит к повышенному уровню сенсорной и интеллектуальной активности, т. е. к повышенному уровню внимания. Устойчивый интерес к фактору «внимание» проявили молодые (неопытные) операторы: свыше 40 % из них поставили фактор «внимание» на первое место, подчеркивая тем самым, что испытывают серьезные трудности при совме-

щении умственной и моторной деятельности. В своих предложениях молодые операторы вели речь о специальных тренажерах для развития определенных способностей, позволяющих снижать напряженность внимания (хотя бы за счет умения пользоваться интегральными параметрами) и сохранять высокую продуктивность умственной деятельности человека-оператора в ситуации конфликта.

Результаты исследований Ю. М. Забродина показывают [34], что процессы принятия решений на уровне обнаружения, различения и опознания есть фундаментальная детерминанта человеческого поведения, определяющая не только конечную эффективность, но и способ работы в условиях неопределенности. Выделяя в качестве определяющей психологической особенности скорость реакции в различных ситуациях конфликта, опытные операторы, по-видимому, считают способ реагирования, способ принятия решений главным элементом в интеллектуальной деятельности человека-оператора, управляющего динамическим объектом в ситуации конфликта.

Итак, из анализа материалов опроса следует, что успех в реальном конфликте определяют два взаимосвязанных фактора: предвидение действий противника и скорость выполнения прогностического акта. Этими факторами определяется интеллектуальная регуляция деятельности человека-оператора в ситуации конфликта, а их единство (единство способности к предвидению действий противника и способности решать задачу прогноза в кратчайшее время) составляет основу практического интеллекта оператора высокого класса.

## **5.2. Оценка индивидуальных различий человека-оператора, участвующего в конфликте**

Изучение свойств практического интеллекта (практического ума) проводилось с помощью специально разработанного устройства: измерялись ошибки прогноза (экстраполяции) и время выполнения прогностического акта. Если использовать понятия концепции функциональной системы, разработанной П. К. Анохиным [12, 13], то указанная аппаратура позволяет оценить работу акцептора результатов действия и измерить время афферентного синтеза.

Конструктивно устройство состоит из отдельных узлов-модулей. В его состав входит шарнирная опора с приливами для крепления съемного экрана. К экрану крепится светозащитный кожух, имеющий поворотную шторку, с помощью которой регулируется соотношение затененной и освещенной части экрана, т. е. объем информации, используемый для решения задачи прогноза. Экспериментальные изображения формируются с помощью диапроектора со специальным широкоугольным объективом. К диапроектору с помощью байонетного соединения крепится таймер. Управление устройством осуществляется с пульта и с помощью пера-указателя.

Для проведения эксперимента необходимо выполнить следующие операции:

1. Установить рамку с диапозитивом в световой тракт диапроектора.

2. Развернуть шторку на определенный угол, т. е. затенить заданную часть экрана.

3. Развернуть устройство на шаровой опоре в сторону испытуемого.

4. Нажать кнопку «пуск», размещенную на пульте управления; с нажатием на кнопку включается таймер.

5. Испытуемый находит заданную экспериментатором точку в прогнозируемом пространстве и отмечает ее на экране пером-указателем; в момент касания таймер автоматически выключается.

6. Экспериментатор измеряет ошибку прогноза (экстраполяции) на экране, предварительно развернув подвижную створку на полный угол, и снимает показания с таймера.

Для экспериментального изучения особенностей практического интеллекта человека-оператора были сформированы две полярные группы по 30 человек: группа А и группа Б (характеристика индивидов, входящих в эти группы, была дана в § 5.1). Отбор проводился экспертами по специально разработанному перечню личностно-профессиональных качеств, характеризующих операторов высокого класса. Методика эксперимента заключалась в следующем. Операторам предъявлялась ограниченная информация о поведении различных кривых, используя которую они должны были вскрыть закономерность и решить задачу экстраполяции характерных точек кривой, задаваемых экспериментатором, или определить точку пересечения двух кривых. Задание выполнялось в двух режимах: в первом режиме необходимо было решить задачу за минимально возможное время, а во втором — время выполнения задания не ограничивалось, но ставилась задача достижения максимальной точности. В обоих случаях фиксировалось время выполнения задания и замерялась ошибка, которую допускали операторы при определении местоположения характерных точек прогнозируемых кривых.

Анализ результатов выполнения различных заданий (набор кривых) показывает, что ошибки прогноза, которые допускались операторами из группы А в первом режиме, были в 2—3 раза ниже ошибок прогноза для случая, когда время эксперимента не ограничивалось. Это говорит о том, что операторам из группы А более свойственна интуитивная форма мышления, определяющая способ их работы в условиях неопределенности. Благодаря этой форме мышления, процесс оценки результатов действия (результатов прогноза) происходит на неосознанном уровне. Наличие оценочного компонента на неосознанном уровне обуславливает то чувство уверенности (устойчивый способ работы в условиях неопределенности), которое сопровождает всю практическую деятельность лучших операторов (лучших с точки зрения конфликта), включая и

процесс принятия решений. Второй режим эксперимента с этой точки зрения оказывался несвойственным лучшим операторам способом работы, и они значительно ухудшали свои показатели в этом режиме.

В работе операторов из группы Б наблюдалась обратная картина: в условиях жесткого лимита времени результаты прогноза у них были значительно хуже, чем у операторов из группы А (средняя ошибка прогноза была больше почти в два раза). Во втором режиме эксперимента эти операторы значительно улучшили результаты своей деятельности: ошибки прогноза у них оказались довольно близкими к тем показателям, которые были достигнуты операторами группы А в условиях жесткого лимита времени. Анализ материалов исследований показывает, что оценка результатов деятельности (прогноза) у операторов из группы Б происходит на осознанном уровне (модель прогноза строится на осознанном уровне). Благодаря оценочному компоненту на осознанном уровне, эти операторы успешно выполняли задания экспериментатора во втором режиме, т. е. когда время решения задачи не ограничивалось. Осознание результатов прогноза явилось у операторов из группы Б важнейшим фактором регуляции их интеллектуальной деятельности.

В эксперименте выяснилось, что для оценки преимуществ операторов из группы А только с помощью критерия, связанного с изменением ошибок прогноза, оказывается недостаточно. Имели место случаи, когда у отдельных операторов из группы Б ошибки прогноза в условиях жесткого лимита времени были меньше, чем ошибки операторов из группы А. Определенная часть операторов из обеих групп имели небольшие ошибки прогноза как в одном, так и в другом режиме проведения эксперимента. Некоторые операторы из группы А вне зависимости от задания продолжали работать в режиме, близком к интуитивному (в этом случае ошибки прогноза, полученные в различных режимах, мало отличались друг от друга). Другие операторы из этой группы полностью переходили в осознанный режим работы и показывали при этом хорошие результаты. Для анализа результатов эксперимента с учетом указанных «выбросов» более информативным оказался интегральный критерий, представляющий собой произведение ошибки прогноза на время выполнения прогностического акта (импульс ошибки). Величину, обратную импульсу ошибки, будем называть эффективностью (продуктивностью) прогноза. Введение этого критерия объясняется стремлением сохранить прямую зависимость между критерием и качеством прогноза: чем точнее и быстрее решает задачу экстраполяции данный оператор, тем меньше импульс ошибки, а следовательно, выше эффективность (продуктивность) прогноза. Предложенные критерии позволяют оценить не только прогностические способности, но и способ работы (способ взаимодействия) человека-оператора. Это представляется важным, поскольку каждого оператора в эксперименте отличал индивидуальный способ (стиль) работы в тех или иных режимах.

Анализ деятельности экспериментальных групп с помощью интегральных критериев показывает, что группы имеют одинаковую эффективность прогноза во втором режиме, т. е. когда время решения задачи не ограничивалось. Но стоило только перейти в первый режим эксперимента, т. е. в режим при жестком лимите времени, как преимущество операторов из группы А становилось значительным: эффективность (продуктивность) прогноза у этих операторов оказалась в 3—4 раза выше, чем у операторов из группы Б. Эти данные говорят о том, что именно эффективность прогноза в условиях «жесткого» лимита времени является тем определяющим признаком, по которому экспериментальные группы отличаются друг от друга.

Таким образом, в результате экспериментального исследования было установлено, что прогностические способности тесно связаны с формами мыслительной деятельности, которые, в свою очередь, определяются способом работы человека-оператора в условиях неопределенности. Устойчивая закономерность в работе операторов из группы А, связанная с достижением высоких результатов прогноза в условиях жесткого лимита времени, говорит об их склонности к интуитивной форме мышления. Оценка результатов деятельности в этом случае происходит преимущественно на неосознанном (интуитивном) уровне, что позволяет операторам из группы А добиваться высоких результатов не только в прогнозе как таковом, но и при выполнении всей деятельности в условиях конфликта. У операторов из группы Б оценочному компоненту результатов действий (прогноза) более свойствен осознанный уровень, что затрудняет решение задач в условиях жесткого лимита времени, т. е. в условиях конфликта. Указанный вывод подтверждается экспериментальным исследованием, проведенным с операторами групп А и Б при решении задач, связанных с управлением динамическим объектом в условиях конфликта. Операторы из группы А практически не меняли своего решения, принятого в условиях жесткого лимита времени, т. е. на неосознанном, интуитивном уровне, в том случае, если им предлагалось обдумать свое решение (время обдумывания не ограничивалось) с целью его корректировки. Операторы же из группы Б при аналогичном задании изменили почти половину (46 %) своих решений. Последнее обстоятельство, естественно, не может не отразиться на эффективности деятельности человека в условиях высокой динамичности конфликта.

Все эти данные подтверждают существование специальных способностей у определенной части операторов, у операторов группы А. Вариации этих способностей определяют устойчивую основу, которая является фундаментальной детерминантой человеческого поведения не только на сенсорно-перцептивном уровне, но и на уровне построения прогнозируемых моделей, определяющих эффективность принимаемых решений. Если понимать под интеллектом специфический аппарат, ориентирующий живую систему во времени и пространстве [79], а экспериментальное исследе-

дование показывает, что данное определение отражает суть этого понятия, то тогда вариации специальных (прогностических) способностей во времени и пространстве можно рассматривать как важнейшее свойство практического интеллекта человека-оператора.

Кроме оригинальной аппаратной методики, рассмотренной выше, для изучения психологических особенностей человека-оператора, для построения психологического портрета человека-оператора высокого класса использовались известные психодиагностические методики: тесты на внимание, психомоторные тесты, личностные опросники, интеллектуальные тесты и т. д. Так, внимание операторов оценивалось по черно-красным таблицам в жестком лимите времени (испытуемые должны были выполнить максимальное количество заданий за три минуты). Анализ результатов исследований показывает, что все операторы из группы А действовали очень надежно: они находили от 16 до 19 пар чисел, не делая при этом практически ни одной ошибки. У операторов из группы Б наблюдался большой индивидуальный разброс как по скорости выполнения заданий, так и по количеству ошибок (от 1 до 5).

Для изучения особенностей личности человека-оператора использовался стандартизованный метод исследования личности (СМИЛ), представляющий собой модифицированный вариант ММРІ [89]. С помощью СМИЛ определялись следующие показатели, характеризующие индивидуально-психологические особенности личности человека-оператора: уровень притязаний, эмоциональная устойчивость, самоконтроль, самооценка, социальная адаптивность, степень включенности в социальную среду, уровень активности и оптимизма, выраженность мотивации, уровень тревожности, выраженность лидерства.

На рис. 29 представлен усредненный профиль операторов, входящих в группу А. Анализ количественных оценок показывает, что профиль личности анализируемой группы характеризуется повышением по 2, 4, 6-й шкалам и низкими баллами по 3-й и 0-й шкалам. Лица, имеющие такой профиль, отличаются высокой активностью и высоким уровнем притязаний (показатели по 4-й и 9-й шкалам). Они самоуверенны, несколько агрессивны, напористы, упрямы, энергичны, стремятся к лидерству (показатели по 6-й шкале, сочетание показателей по 4, 6, 9-й шкалам). Этим лицам присущ высокий уровень мотивации, стремление к достижению успеха в деятельности, оптимальная уверенность в себе. Отмечается у этих лиц нерезкое повышение уровня тревожности (показатели по 7-й шкале), выполняющего контролирующие функции над некоторой их импульсивностью (сочетание по 4-й и 9-й шкалам). Для всей группы операторов, имеющих указанный профиль, характерна высокая способность контролировать эмоции.

Анализ индивидуальных профилей и усредненных профилей более мелких групп, составленных по степени идентичности ряда качеств, показывает, что операторам группы А свойственны и

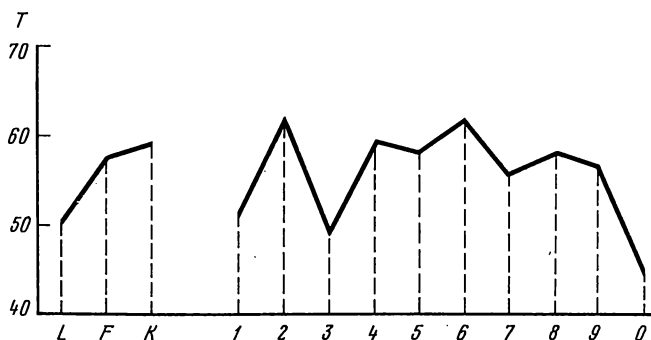


Рис. 29. Усредненный профиль операторов группы А

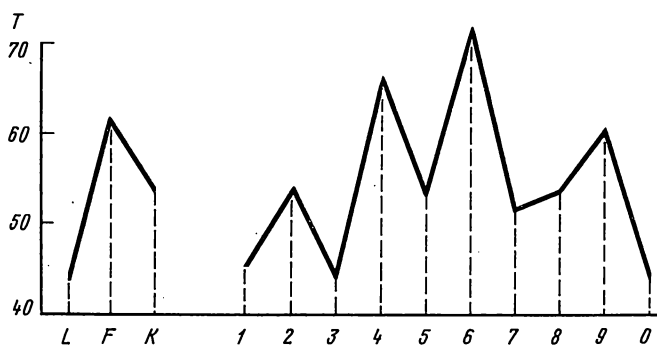


Рис. 30. Усредненный профиль операторов экспериментальной группы

другие психологические особенности. На рис. 30 представлен усредненный профиль более мелкой группы, который отличается от анализируемого ранее профиля экспериментальной группы. В первую очередь это касается высоких баллов по 6-й шкале (показатели по этой шкале выходят за пределы нормы). Кроме того, для этого профиля характерно повышение показателей по 4-й и 9-й шкалам; сочетание повышенных показателей по 4, 6, 9-й шкалам свидетельствует о наличии акцентуированных личностных особенностей. Наиболее важные психологические особенности лиц, входящих в эту группу: импульсивность, склонность к риску, храбрость, очень высокая самооценка, честолюбие, некоторое пренебрежение морально-этическими нормами. Эти свойства личности, безусловно, затрудняют их социально-психологическую адаптацию, являются «провоцирующими» для возникновения межличностных конфликтов.

Итак, анализ результатов экспериментальных исследований позволяет сделать вывод о существовании специальных способностей (одаренности) человека-оператора, участвующего в конфликте, которые могут быть диагностированы комплексом аппаратных и бланковых психологических методик. Изучение указанных способностей (одаренности) позволит в значительной степени «деформировать» требование к человеко-машинным системам, к динамическому объекту и существенно изменить систему подготовки операторов высокого класса, включая отбор и обучение.

### **5.3. Психологические особенности интеллектуальной регуляции деятельности человека-оператора**

Способность индивида создавать программу действий и на ее основе регулировать свою деятельность всегда признавалась важнейшим качеством любого интеллекта. Когда индивид действует, он тем самым осуществляет внешнее выражение своих планов, нервных программ своего мозга [88]. Действие здесь выступает не только как элемент приспособления внешних условий к возможностям организма, но и как результат приспособления (адаптации) возможностей организма к окружающей среде, т. е. результат саморегуляции. Под психической саморегуляцией будем понимать управление индивидом своими действиями и состояниями как на сознательном, так и на бессознательном (подсознательном) уровнях. Если рассматривать процесс саморегуляции в пространстве параметров, характеризующих деятельность [4], то начало, интенсивность и конец этого процесса совпадают с аналогичными параметрами деятельности. Акт деятельности может и не повторяться, если полученные результаты (достижения) удовлетворяют требованиям критерия, взятого из «ценностного пространства» данного индивида, т. е. деятельность, а вместе с ней и процесс саморегуляции, заканчиваются при совпадении притязаний (мотивационный компонент) данного индивида с достижениями (результатами деятельности). В противном случае (противном деятельности) процесс саморегуляции продолжается до момента, когда будут получены удовлетворительные с точки зрения данного индивида результаты (количество актов деятельности зависит от «ценностного» критерия и возможностей индивида). Здесь важно (с точки зрения процесса саморегуляции) заметить, что в своих притязаниях индивид выдвигает требования не только к ожидаемому успеху (достижениям), но и к самому себе, качеству активности при осуществлении деятельности.

В процессе саморегуляции формируется способ взаимодействия с объектами внешнего мира, удовлетворяющий (как можно более полно) тем требованиям, которые выдвигаются деятельностью перед индивидом. Указанный способ является результатом взаимодействия (взаимоотношения) мотивации и способностей, осуществляемого через деятельность как непосредственно



исполнительный, технический момент психической активности [15]. Другими словами, способ взаимодействия представляет собой результат адаптации (саморегуляции) элементов рассмотренной ранее системы «мотивация—способности» к нуждам данной деятельности. Динамика взаимодействия здесь такова. Частные способности, испытывая постоянное давление со стороны мотивационной сферы как в содержательном, так и в динамическом отношении (сила побуждений меняется довольно в широких пределах в зависимости от возможностей индивида), развиваются, формируются, совершенствуются, приспосабливаясь к решению поставленных задач. На определенной стадии развития (трудно говорить о формировании качественного своеобразия на начальном этапе развития способностей) опять-таки под действием мотивации (именно в этом нужно видеть ее регуляторную роль) происходит интеграция способностей, формируется их качественное своеобразие, т. е. одаренность. Заметим, что в состав каждой способности входит и способ действия (общность корней слов «способность» и «способ» говорит об их взаимоотношении); следовательно, одаренность к данной деятельности предполагает и способ взаимодействия с предметами окружающего мира. Но качественный состав и уровень частных способностей, уровень одаренности в свою очередь обуславливает формирование и соответствующих потребностей, интересов к данным видам деятельности, поскольку именно способности позволяют расширить контуры активности индивида. Более того, существует тенденция к переклещению всех мотивационных установок, мотивационной сферы на более успешные виды деятельности, соответствующие формирующимся и сформировавшимся функциональным возможностям индивида (частным способностям и их качественного своеобразия — одаренности). Указанные возможности индивида и объективные особенности деятельности определяют как конкретное осуществление, так и направление развития мотивации, ее приспособления (саморегуляции) к объективным условиям, в которых осуществляется деятельность. Процесс развития мотивации может закончиться формированием устойчивого стремления (потребности к деятельности) к каким-либо видам деятельности, т. е. склонности.

Подлинная склонность означает расположенность к самому процессу деятельности: индивид получает истинное удовлетворение, наслаждение не только от результатов труда, хотя это и является первопричиной деятельности, но и от самого процесса, в котором эти результаты получены. При подлинной склонности деятельность оказывается не просто средством достижения каких-либо целей, а становится привлекательной сама по себе [52]. Склонность свидетельствует, как правило, о наличии способностей к соответствующей деятельности, хотя случаи несоответствия, «расхождения» между ними имеют место (индивиды группы Б).

Взаимодействие мотивации и способностей, процесс саморегуляции индивида в условиях данной деятельности удобно проил-

люстрировать с помощью закона необходимого разнообразия, рассмотренного в гл. 1. Динамика саморегуляции в этом случае такова. Когда разнообразие поступающей информации  $R_B$  превосходит совокупность действий (разнообразие действий) индивида  $R_{и}$ , т. е. при  $R_B > R_{и}$ , он чувствует себя заинтересованным (у него возникают мотивы, разнообразие мотивов  $R_M$ ) и делает попытки расширить набор своих действий. Это достигается за счет развития и включения в процесс саморегуляции способностей (разнообразия способностей  $R_C$ ). Если попытка компенсации внешних воздействий оказывается неудачной, что является следствием  $R_B \gg R_{и}$ , то индивид непременно переживает эмоции, т. е. в этом случае включаются механизмы, управляющие саморегуляцией. Эмоции возникают и тогда, когда, судя по прошлому опыту, вероятность подкрепления выполненного действия расценивается как низкая [88, 93]. Процесс саморегуляции, определяемый количеством попыток, временем выполнения каждой попытки и т. д., будет продолжаться до тех пор, пока индивид расширит набор своих действий до величины, необходимой для компенсации разнообразия внешней информации, что равносильно выполнению условия  $R_B = R_{и}$ , т. е. условия, при котором индивид ограничивает поступающую информацию и становится «закрытой системой». Чтобы снова стать открытой системой, чтобы вновь вызвать интерес, т. е. мотивацию (разнообразие мотивов  $R_M$ ), индивид должен «открыть» доступ внешней информации, разнообразию внешних воздействий  $R_B$ , причем здесь предполагается, что, чем больше разность  $R_B - R_{и}$ , тем выше мотивация, больше разнообразие мотивов  $R_M$ . Многократно нарушая указанное равенство и добиваясь его выполнения, индивид расширяет набор своих действий, т. е. приспосабливается к условиям внешней среды, условиям данной деятельности. Но процесс саморегуляции предполагает «материальную обеспеченность» со стороны способностей, т. е. предполагает определенный уровень разнообразия способностей  $R_C$ , который необходим для компенсации разнообразия мотивов  $R_M$ . Другими словами, индивиду удастся реагировать на внешнюю информацию с помощью своих действий (решений), т. е. выполнить условие  $R_B = R_{и}$  во «внешнем контуре» взаимодействия, только в том случае, если выполнено условие  $R_M = R_C$  во «внутреннем контуре» взаимодействия, которое является основным условием саморегуляции.

Анализируя условие  $R_M = R_C$ , следует заметить, что речь идет не о равенстве мотивов и способностей (каждому мотиву соответствует определенная способность), а о равенстве соответствующих разнообразий; тот факт, что один мотив может «управлять» развитием нескольких способностей, нужно учитывать при определении порога различимости. Из анализа также следует, что изменение состояния (разнообразия) одного из компонентов неизбежно приводит к изменению отношений между ними, являясь тем самым поводом к их взаимодействию [78]. Но в самом взаимодействии уже заложена тенденция к развитию, поскольку элементы системы

«мотивация—способности» находятся в состоянии не статистического, а динамического (диалектического) равновесия. Причем активным элементом, как уже говорилось выше, выступает мотивация: получив «импульс из вне», мотивация нарушает условие  $R_M = R_C$ , если предположить, что в момент получения внешней информации система «мотивация—способности» находилась в равновесии; в этот момент включаются механизмы саморегуляции (эмоции) и начинается процесс саморегуляции, т. е. процесс развития частных способностей и формирования их качественного своеобразия (одаренности).

Мотивация и эмоция, действие и переживания, возникающие одновременно и определяющие эффективность поведения и его эффективную окраску, являются полярными, контролирующими эффект, механизмами. Они вступают в действие тогда, когда индивид воспринимает больше, чем он может выполнить [88].

При достижении равенства  $R_M = R_C$  выключаются механизмы саморегуляции и прекращается сам процесс; индивид в этом случае оказывается в состоянии выполнить требования внешней среды (деятельности), у него появляется чувство уверенности, т. е. состояние (качество), которое возникает при совпадении требований деятельности и способностей. В этом смысле условие  $R_M = R_C$  может рассматриваться как условие формирования одаренности индивида к данному виду деятельности. Если это так, то при  $R_M \leq R_C$  мы попадаем в пространство индивидов из группы А: эксперименты показывают, что индивидам этой группы наряду с другими качествами, о которых говорилось выше, присущи и уверенность при решении задачи прогноза и высокая эмоциональная устойчивость; при  $R_M \gg R_C$  мы попадаем в пространство индивидов из группы Б: эксперименты показывают, что индивиды этой группы характеризуются неуверенным выполнением экспериментальных заданий при дефиците времени и низкой эмоциональной устойчивостью.

При развитии частных способностей и формировании их качественного своеобразия, т. е. одаренности, происходит нарушение условия  $R_M = R_C$ , но «инициатором» этого нарушения оказываются уже способности: достигнутый их уровень позволяет перестроить иерархию мотивов, т. е. мотивацию, что, в свою очередь, является началом нового процесса саморегуляции, нового процесса формирования одаренности и т. д. Многократное выполнение указанного условия (в предположении, что развиваются оба компонента системы) приводит к формированию одаренности индивида, которая в наибольшей степени отвечает требованиям данной деятельности. Если не удалось выполнить это условие даже однажды (или удалось выполнить только на начальной стадии развития мотивации и способностей), то это говорит о неспособности индивида к выполнению данной деятельности (индивиды группы Б) и необходимости переключения его на другие виды деятельности.

От свойств системы «мотивация—способности» в целом и ее

элементов в отдельности зависит способ разрешения противоречий между мотивацией и способностями, способ их взаимодействия. Но поскольку мотивация и способности взаимодействуют через деятельность, т. е. внутренняя структура системы формируется в ходе внешнего взаимодействия, то следует считать, что сам способ оказывает обратное влияние на элементы системы, на формирование их свойств и качеств. Экспериментальные исследования показали, что качественная определенность интеллекта человека-оператора, характеризующая успешность выполнения деятельности в ситуации конфликта, детерминируется прежде всего способом его работы в условиях неопределенности. И здесь у индивида, по крайней мере, два пути: первый связан с обработкой всей поступающей (внешней) информации, второй — с получением и обработкой минимума информации и переходом к внутренним формам регуляции (саморегуляции). Первый путь оказывается эффективным при полной информации о внешних воздействиях (объектах) и неограниченном времени ее обработки; второй — в ситуации дефицита информации (при высокой неопределенности) и времени, т. е. в ситуации, которая внутренне присуща конфликту. Используя первый (логический) путь, индивиды из группы Б обеспечивали высокую точность решения задачи экстраполяции, но время решения было большим; используя второй (интуитивный) путь, индивиды из группы А решали задачу экстраполяции быстро и точно.

Итак, в результате проведенных исследований удалось установить, что в качестве ведущих (внутренних) условий формирования практического интеллекта оператора высокого класса выступают два тесно связанных и взаимодействующих фактора: мотивация (активность) и способности. Причем «организатором» процесса взаимодействия в системе «мотивация—способности», «инициатором» процесса саморегуляции, процесса формирования одаренности к данной деятельности выступила мотивация (активность): именно активностью определяется практическая направленность интеллекта индивидов из группы А, которая проявилась в их склонности к определенной (интуитивной) форме мыслительной деятельности. Недаром В. Д. Небылицин называл ее базальной координатой личности, отражающей не только силу внутренней тенденции индивида к активному действию, но и напряженность, темп, ритм, а также склонность к разнообразию действий [70]. По его мнению, индивидуальные вариации в активности выступают как один из основных психологических референтных показателей общих свойств нервной системы. Этот вывод полностью подтвердился в результате эксперимента: вариации в активности определяли не только скорость, темп, ритм выполнения экспериментальных заданий, но и качественную сторону этой деятельности. Так, у одних операторов из группы А прослеживалась более тесная (однозначная) связь ошибок прогноза с оценочным компонентом результатов интеллектуальных действий: хорошие показатели у них наблюдались только при определенной (интуитивной) форме мыслительной деятельности. Когда же время

в эксперименте не ограничивалось, то они, как правило, допускали наибольшие ошибки, хотя по условию эксперимента именно в этом случае необходимо было показать наилучшие результаты. Другие операторы из группы А добивались хороших результатов как в том, так и в другом случае, т. е. при неограниченном времени и при дефиците времени. Однако стоило им предложить перейти на свой, привычный способ работы, как они сразу начинали работать в режиме, характеризуемом дефицитом времени. У индивидов из группы Б также оказалось, что устойчивый способ их работы тесно связан с проявлением индивидуальных вариаций в активности. Из сказанного следует, что не принадлежность оценочного компонента осознанному или неосознанному уровню выступила в качестве основного критерия, согласно которому операторы были классифицированы в группы А или Б, а устойчивый способ работы в условиях неопределенности, который является следствием проявления индивидуальных вариаций в активности. Именно этот способ обеспечивает наивысшую продуктивность интеллектуальной деятельности человека-оператора в ситуации конфликта.

Для непосредственного изучения особенностей мышления человека-оператора использовалась методика исследования особенностей мышления (МИОМ), представляющая собой вариант теста Амтхауера [25, 89]; причем наряду с рекомендованными методикой временами выполнения отдельных субтестов использовались и более жесткие нормы времени. Результаты исследований показали, что не все субтесты оказались пригодными для изучения качественных особенностей, которыми обуславливается практическая направленность интеллекта человека-оператора. В частности, это касается первых пяти субтестов, хотя и по этим субтестам имела разницу между индивидами из группы А и группы Б в жестком временном режиме. В табл. 7 представлены результаты эксперимента по другим, более информативным субтестам МИОМ.

При анализе результатов, представленных в табл. 7, выявилась та же тенденция, что и в эксперименте с прогнозом: индивиды из группы А по сравнению с индивидами из группы Б имели более высокую продуктивность деятельности в условиях дефицита времени. Если по количеству выполненных заданий показатели в обеих группах были приблизительно одинаковы, то по количеству сделанных ошибок группа Б намного превосходила группу А.

Результаты эксперимента показывают, что основная особенность работы механизмов практического мышления оказалась тесно связанной с формой отражения реальной действительности. Когда операторы из группы А имели возможность воспринимать объект во всей совокупности его свойств и качеств, то они заметно улучшали показатели своей работы. Особенно это проявилось при выполнении заданий в условиях жесткого лимита времени (субтесты 6 и 7). В этом режиме наиболее четко выступил интегративный характер «схватывания» основных свойств объекта и выделения главного в нем. Последнее, вероятно, достигается специфи-

Таблица 7

## Результаты оценки качеств операторов

Оператор	Группа А			
Время работы, мин	3		1,5	
Результат работы	Выполнение задания	Правильные ответы, %	Выполнение задания	Правильные ответы, %
Субтест 6	8	89	6	92
Субтест 7	12	77	8	91
Субтест 8	11	92	10	70
Субтест 9	11	81	7	93

Оператор	Группа Б			
Время работы, мин	3		1,5	
Результат работы	Выполнение задания	Правильные ответы, %	Выполнение задания	Правильные ответы, %
Субтест 6	6	82	5	73
Субтест 7	11	53	7	49
Субтест 8	11	64	9	53
Субтест 9	10	61	7	58

кой форм анализа и синтеза, присущих практическому мышлению. В заданиях же (субтестах), где объект необходимо было воспринимать по частям и «восстанавливать» целое, определенная часть операторов из группы А стала ухудшать показатели своей работы. Напротив, операторы из групп Б стали улучшать свои показатели при выполнении заданий по данным субтестам, причем настолько, что некоторые из них даже превосходили операторов из группы А. Здесь оказалось, что форма отражения действительности при выполнении этого субтеста явно не соответствовала способу мышления операторов из группы А, а следовательно, и характеру работы их механизмов мышления. Психические процессы отражения действительности, таким образом, предопределяют особенности работы механизмов мышления, которые в свою очередь, детерминируют, причем детерминируют существенным образом, способ мышления.

Высокие результаты, показанные операторами из группы А при выполнении субтестов 6 и 7, а также тенденция улучшать свои показатели в условиях жесткого лимита времени, говорят о том, что их способ мышления присущи свои, специфические формы отражения действительности. Указанная специфика отражения состоит в том, что главное и определяющее в ситуации конфликта выделяется сразу; это дает большие преимущества операторам из группы А (по сравнению с операторами из группы Б) при решении задач конфликта. Полное отражение действительности в условиях жесткого лимита времени позволяет операторам из группы А

не только глубже вникать в обстановку, но и более качественно предвидеть ход ее развития, что всегда рассматривалось как одно из ценнейших качеств интеллекта оператора высокого класса. Свои преимущества операторы из группы А наглядно продемонстрировали при выполнении субтеста 6. Отражение цифровой последовательности в целом, а также выделение основных ее смысловых связей позволили им более точно, полно и адекватно вскрыть закономерности «чужой» логики (рефлексивность). То неоспоримое преимущество, которое имеют в конфликте операторы из группы А, обусловлено особенностями работы их механизмов мышления, способом работы в условиях неопределенности. Именно здесь нужно искать отличия практического мышления от теоретического.

Основное отличие практического мышления от теоретического состоит в том, что в первом случае мыслительный процесс контролируется логикой интуиции, во втором — логикой сознания. Если в теоретическом мышлении анализ и синтез (элементы, определяющие способ мышления [92]), разнесены по времени, то в практическом мышлении (интеллекте) они осуществляются, как правило, в одном познавательном акте, обуславливая тем самым интуитивно-познавательный характер всего мыслительного процесса. Следует заметить, что, несмотря на преимущественно логический характер мыслительного процесса в теоретическом мышлении и интуитивный — в практическом, и в том и другом происходит непрерывное взаимодействие осознанного и неосознанного, логического и интуитивного (в каждом логическом мыслительном процессе есть свое интуитивное и в каждом интуитивном — свое логическое). В их единстве, в формировании этого единства заключены и сущность и основные закономерности развития каждого типа мышления.

Известно, что диалектический характер осознанного и неосознанного начинает проявляться уже на уровне восприятия. Многочисленные исследования показывают [11, 19, 64], что осознается только часть воспринимаемой информации, в то время как поведение человека определяется и той информацией, которая проходит мимо фильтра «значимости» сознания. Сложный характер восприятия в практическом мышлении подтверждают и экспериментальные исследования, анализ которых показывает, что мгновенность понимания обстановки и принятие решений, адекватных этой обстановке, оказались всецело зависимыми от форм представления информации (форм восприятия). Когда операторам информация о положении «противника» сообщалась в знаковой форме («противник» справа, слева и т. п.), то время принятия решений у них укладывалось в диапазон от 15 до 30 с. Когда же информация о положении «противника» была представлена на схеме в интегральном виде, то время принятия решений составило 3—5 с. Анализ опросов операторов, участвующих в эксперименте, показывает, что форма представления информации в первом случае явно не соответствовала способу работы их механизмов

мышления (операционных механизмов [11]). Увеличение времени принятия решений было вызвано необходимостью перевода информации в знаковой форме на уровень представлений: операторы должны были вначале представить себе ситуацию конфликта, формализованную в виде задачи, и только после этого принять адекватное решение. Описанный эксперимент убеждает в том, что наглядность в обучении, направленная на формирование соответствующих форм психического отражения действительности, выступает здесь как необходимое условие работы операционных механизмов практического мышления, являясь следствием разрешения вышеупомянутых противоречий между осознанным и неосознанным, между логическим и интуитивным. В результате разрешения противоречий возникает не только тот или иной тип мышления, но и специфика работы механизмов мышления, удовлетворяющая требованиям конкретной деятельности. Этой спецификой определяется содержание конкретной формы психического отражения, которое формируется под влиянием логики деятельности и выступает основным ее носителем. Если в теоретическом мышлении формирование соответствующей формы отражения связано с работой операционных механизмов, находящихся под контролем сознания, то в практическом — работа механизмов мышления выходит из-под контроля сознания, благодаря чему отражение обретает тот интегративный характер, в котором «все логическое» представлено в основном интуитивным. Заметим здесь, что основная особенность (качественная особенность) работы механизмов практического мышления обусловлена своеобразием интеграции частных (специальных) способностей данного индивида.

В качестве важнейшей психологической особенности человеческого интеллекта рассматривается обычно способность действовать «в уме». Считается, что присущий данному индивиду план действий возникает благодаря развитию именно этой способности, которая осуществляется в психологическом механизме мышления на основе единства логического и интуитивного. Причем это единство понимается следующим образом: при нетворческой задаче человек реализует свой план действий с помощью готовых логических схем; в случае творческой задачи решение ее осуществляется на интуитивных структурных уровнях [79]. Поскольку образование уровней обусловлено в первую очередь глубиной (степенью) разрешения основных противоречий, т. е. противоречий между логическим и политическим, то их следует считать основным носителем качественной определенности того или иного интеллекта: уровни характеризуют как способ, так и механизмы мышления, присущие данному индивиду. Зависимость способов мышления и механизмов, лежащих в их основе, от степени разрешения соответствующих противоречий выступает не только направленностью интеллекта к конкретному виду деятельности, но и направленностью к решению ее основных задач творческим или нетворческим путем. Если подходить к проблеме творчества только со стороны ее принадлежности к интуитивному уровню мышления и не пытаться



при этом раскрыть суть этого уровня с позиций работы основных механизмов мышления, то решение этой проблемы всегда будет скрыто за способностями действовать «в уме». Эти способности имеют сложный и интегративный характер: их формирование происходит в процессе саморегуляции и сводится к взаимодействию активности (мотивации) и частных (локальных) способностей, о чем говорилось выше.

Остановимся на анализе экспериментальных материалов по субтесту 9 МИОМ, характеризующему «кратковременную память» индивида. Нетрудно убедиться (см. табл. 7), что по этому субтесту наблюдаются наиболее существенные различия в возможностях (интеллектах) операторов из групп А и Б. Так, операторы из группы А в условиях жесткого лимита времени имели 93 % правильных ответов; операторы из группы Б — только 58 %. При этом оказалось, что более высоким показателям по «кратковременной памяти», как правило, соответствовали и более высокие показатели по остальным субтестам МИОМ. Столь высокая корреляция результатов выполнения заданий по отдельным субтестам с показателями по кратковременной памяти позволяет говорить о том, что кратковременную память следует рассматривать не только как основу оперативной памяти, т. е. памяти, принимающей самое непосредственное участие в любом мыслительном процессе человека-оператора, но и как важнейший элемент, обеспечивающий работу механизмов практического мышления. В пользу этого говорит и тот факт, что у операторов из группы А обнаружилась тенденция улучшать показатели по кратковременной памяти при работе в наиболее жестком режиме времени.

Активная роль кратковременной памяти, ее неосознанных компонент в формировании необходимой по объему и значению информации подтверждается результатами исследований. Оказалось, что лица, которые использовали логический (аналитический) подход в выборе решений, лучше оценивали и воспроизводили динамику события; лица, которые не смогли обосновать свои ответы, т. е. интуитивности, лучше оценивали ситуацию перед наступлением события. В результате эксперимента получено немало данных, которые говорят не только о тесной связи мнемических процессов с работой операционных механизмов мышления, но и о преобладании в этих процессах неосознанных компонент.

Изучение некоторых свойств внимания также показало, что к его основной функции, связанной с контролем и регуляцией протекания мыслительной деятельности, необходимо подходить с позиций работы основных механизмов мышления. В предыдущем параграфе уже говорилось, что внимание проверялось по черно-красным таблицам: по полученным данным индивиды из группы А имели значительное преимущество по отношению к индивидам из группы Б. Но здесь речь идет о другом: в эксперименте имели место случаи, когда операторы из группы Б намного превосходили операторов из группы А по показателям, полученным с помощью черно-красных таблиц обычного формата. Тогда условия экспери-

мента были изменены: внимание операторов оценивалось по черно-красным таблицам увеличенного размера (два стандартных листа ватмана). В этих условиях операторы из группы А опять-таки имели бесспорное преимущество перед операторами из группы Б. Хотя по одному исследованию еще нельзя со строгой определенностью говорить о полной обусловленности внимания характером работы механизмов мышления, но частично материалы исследования подтверждают этот вывод, причем подтверждают с позиций соответствия форм психического отражения характеру работы основного механизма мышления, т. е. с позиций разрешения основных противоречий: в результате разрешения противоречий образуется тот высокий уровень обобщения психических процессов, который проявляется во внимании как основном показателе регуляции интеллектуальной деятельности.

Выше было показано, что основным противоречием конфликта на уровне его наиболее общих закономерностей выступило противоречие между информационными и энергетическими возможностями динамических объектов; причем наиболее сильной связью, определяющей эффективность управления объектом, оказалась информационная связь. Это подтвердилось при опросе: стоило только изменить энергетические возможности объекта, а информационные оставить в прежнем виде, как у большинства операторов сразу проявился повышенный интерес к фактору «внимание»; этот интерес выступил в роли своеобразного критерия, отражающего степень соответствия специальных способностей новым условиям человеческой деятельности.

Итак, материалы исследований показали, что наиболее общие закономерности взаимодействия в конфликте следует искать на пересечении двух процессов: энергетического и информационного. Что касается специфических закономерностей, обусловленных особенностями интеллектуальной регуляции человеческой деятельности в конфликте, то их, как показал эксперимент, необходимо выявлять в процессе саморегуляции, в процессе взаимодействия мотивации (активности) и способностей. Если на уровне общих закономерностей наиболее сильной связью оказывается информационная связь, то на уровне специфических закономерностей взаимодействия наиболее сильной связью оказалась уже «энергетическая» связь, т. е. активность. Определяемая индивидуальными вариациями в активности, эта связь детерминирует характер взаимодействия; на уровне психической деятельности — формы и способы мышления.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В книге предпринята попытка комплексного подхода к изучению конфликта в форме игровых моделей на математическом, лингвистическом, психологическом уровнях. Новизна исследуемых проблем сказалась известным образом на работе. Ограниченный круг анализируемых игровых моделей, недостаточность экспериментального материала, недосказанности психологического толка и т. д. не всегда являются результатом ограниченного объема книги: по ряду проблем в распоряжении автора не оказалось удовлетворительного исследовательского материала, а некоторые вопросы находятся в стадии решения. Скорее всего, и невозможно в одной книге получить ответы на все вопросы, касающиеся закономерностей противоборства, в котором участвует человек. Но ограниченный объем книги повлиял на выбор (отбор) материала и его распределение по главам.

Сопоставление полученных математических и психологических результатов дает возможность предположить, что разработка аппарата, позволяющего адекватно описывать и исследовать закономерности принятия решений в ситуации конфликта, закономерности продуктивного мышления в данной ситуации, будет идти не в направлении использования формальных теорий других наук (в частности, математических и физических наук), т. е. не в направлении от математики к психологии, а в направлении от психологии к математике, т. е. в направлении поиска новых, присущих психологии моделей, подходов, уровней исследования. Причем дальнейшее развитие психологической теории принятия решений связано не только с разработкой новых математических подходов и аппаратов, но и с созданием новых методов психологических исследований, позволяющих обнаружить неизвестные закономерности интеллектуальной деятельности человека.

Если говорить о математическом аппарате будущего, т. е. аппарате, который будет построен в результате реализации формулы от психологии к математике, то здесь уже сейчас можно высказать ряд конструктивных предложений. В первую очередь это касается требования немонотонности аппарата, поскольку существующая математическая (монотонная) логика не всегда используется конкретным человеком в реальной ситуации. Именно немонотонная

логика может стать тем основанием, тем «фундаментом», на котором может быть построено «здание» теории принятия решений; причем в этом случае при разработке теории будут использоваться не только «блоки» логического, но и «блоки» интуитивного. Далее: элементы взаимодействующей системы, процессы в которой затем описываются на формальном языке, должны не привноситься «из вне», а должны быть результатом психологических исследований. Более того, только в процессе психологических исследований, в процессе анализа полученных результатов (и только в этом случае) могут быть найдены новые подходы к построению формального, математического аппарата (языка), адекватно отражающего психологические явления и процессы.

И наконец, при построении аппарата принятия решений не следует забывать о лингвистическом подходе. Но здесь нужно иметь в виду разночтения в трактовке, интерпретации данного понятия. Автор не разделяет мнение тех, кто считает лингвистический подход новой математикой. Это не так (по крайней мере, на эту тему можно спорить без надежды на успех). Не вдаваясь в анализ результатов указанных споров, можно высказать одно, на наш взгляд, бесспорное утверждение, которое чаще всего не учитывается противоборствующими сторонами: именно лингвистика (возможно, только лингвистика) может оказаться «мостом», связывающим математику и психологию. Правда, для реализации этого утверждения нужно дать психологическую трактовку нечеткости, разработать методику построения функции принадлежности с учетом психологических особенностей эксперта, определить зависимость достоверности решения задачи от количества экспертов и т. д.

В перспективе можно наметить ряд направлений исследования в различных областях.

*В математической области.* Основная трудность при оптимизации задач, в которых противоборствуют динамические объекты, состоит в высоком порядке дифференциальных уравнений, описывающих анализируемую систему. В типичной ситуации, когда система описывается нелинейными дифференциальными уравнениями, задача решается уже с трудом, а с увеличением размерности объектов задача становится принципиально безнадежна для традиционно применяемых численных методов.

Одним из возможных путей преодоления этой трудности является декомпозиция объектов высокого порядка на ряд подобъектов низкого порядка, задача оптимизации которых была бы эквивалентна исходной. Этот путь формально реализуется использованием техники группового анализа дифференциальных уравнений применительно к задачам управления (см. гл. 2). Такая техника отработана для декомпозиции объектов на независимые части.

Стоит задача ее разработки в направлении, позволяющем выделять в сложном объекте разные уровни управления, т. е.

иерархизировать объект управления, когда не представляется возможным разложить его на независимые части.

Другая трудность состоит в недостаточности традиционного подхода в теории игр, тяготеющей к антагонистическим играм, что объясняется общепризнанностью понятия их решения по сравнению с неантагонистическим случаем, в котором основной сложностью является выработка принципа оптимального поведения. Пример преодоления этого недостатка — выделение класса игр с антагонистическим поведением игроков. По мнению автора, этот класс игр точнее моделирует ситуацию противоборства активных игроков, чем антагонистические игры. В перспективе идея неантагонистических игр с антагонистическим поведением может быть распространена на групповые конфликты, в которых с каждой стороны участвуют несколько операторов и заранее выделены коалиции противоборствующих сторон. В таких конфликтах, кроме антагонизма поведения, явно прослеживается тенденция к сотрудничеству внутри коалиции, усложняемая трудностями обмена информацией между игроками одной коалиции. Другими словами, речь идет о разработке обобщенной модели конфликта, учитывающей как антагонизм, так и сотрудничество.

Выделение игр качества позволяет, с одной стороны, упростить задачу и получить более глубокие результаты, а с другой — является лишь первым этапом для исследования более общих конфликтов степени. Еще одно преимущество в выделении конфликтов качества состоит в том, что к их анализу можно привлечь достаточно развитые методы алгебры (полиадические алгебры, групповой анализ), которые пока еще мало используются для решения этих задач.

*В лингвистической области.* Формализация нечетких понятий позволяет описывать поведение больших систем, причем настолько сложных и плохо определенных (структуризованных), что они не поддаются точному количественному анализу (по крайней мере, с помощью существующего математического аппарата). В ряде случаев такое описание оказывается единственно возможным. Расширение возможностей математического (а точнее, лингвистического) моделирования в этом случае объясняется тем, что при лингвистическом подходе учитывается не только физическая и алгоритмическая неопределенности, но и лингвистическая неопределенность, порождаемая многозначностью слов (понятий и отношений) языка и неоднозначностью смысла фраз.

Нечеткие алгоритмы, допускающие использование нечетких инструкций, могут найти широкое распространение в области искусственного интеллекта. Связь между искусственным интеллектом и теорией нечетких множеств окажется вполне естественной, если принять гипотезу Л. Заде о том, что человек мыслит не числами, а нечеткими понятиями. Работы в области нечетких алгоритмов могут стимулировать развитие гибких автоматизиро-

ванных производств и робототехнических комплексов, в частности роботов, способных выполнять отдельные интеллектуальные действия человека. Перспективные робототехнические системы будут способны, восприняв предварительно нечеткую инструкцию, рационально действовать в сложной ситуации, включая ситуацию конфликта.

И наконец, теория нечетких множеств может быть полезна при создании диалоговых систем с языком общения, близким к естественному. Представляются актуальными также исследования в области создания нечетких языков программирования (например, ФАГОЛ).

*В психологической области.* В книге показано, что специфические закономерности взаимодействия, обусловленные особенностями интеллектуальной регуляции человеческой деятельности в конфликте, необходимо выявлять в процессе саморегуляции, в процессе взаимодействия мотивации и частных способностей.

Если на уровне общих закономерностей конфликта в качестве наиболее сильной связи выступила информационная связь, то на уровне специфических закономерностей такой связью оказалась уже «энергетическая» связь, т. е. активность. Определяемая индивидуальными вариациями, эта связь детерминирует характер взаимодействия, т. е. формы и способы мышления. Более детальный анализ закономерностей в системе «мотивация—способность» позволит наметить практические рекомендации по формированию соответствующих (в частности, доминирующих) мотивов, их иерархии, т. е. по формированию активного элемента взаимодействующей системы, от которого в конечном итоге зависит одаренность того или иного индивида.

Основное противоречие конфликта, выступившее в качестве внешней детерминанты развития специальных способностей человека-оператора, по своему существу выступило и основным источником, предопределившим их развитие как развитие способов взаимодействия.

Что же касается движущих сил развития специальных способностей, то материалы исследования однозначно констатируют: эти силы следует искать в диалектическом единстве (взаимодействии) внешнего и внутреннего. Тот факт, что в развитии способов взаимодействия ведущую роль приобрели способности к прогнозу в условиях жесткого лимита времени, говорит о необходимости изучения их онтогенетического аспекта с позиций разрешения противоречий.

В развитии одаренности, в динамике формирования практического интеллекта человека-оператора наиболее полно проявляется существо закона о количественно-качественных взаимопревращениях, позволяющего проследить образование качественных особенностей в зависимости от того, на каких уровнях совершаются основные количественные преобразования (изменения). С этих

позиций одаренность может быть понята не только качественно, т. е. описана со стороны наиболее продуманной организации мотивационных, когнитивных и других процессов, но и оценена количественно с помощью тех материальных затрат, которые требуются указанной организации. Если говорить о количественных оценках, то автор предполагает большое будущее у аппаратурных методик (диагностирующих устройств), предназначенных для оценки способности человека принимать решения в сложных условиях реальной действительности, включая конфликтную ситуацию. В качестве таких устройств могут широко использоваться тренажеры, если они наряду с задачей обучения будут решать и задачу диагностики, для чего в состав тренажера непременно должен включаться блок (группа блоков) диагностики.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Маркс К., Энгельс Ф. Собр. соч. 2-е изд. Т. 20.
2. Ленин В. И. Полн. собр. соч. Т. 29.
3. Абульханова-Славская К. А. О субъекте психической деятельности. М., 1973.
4. Абульханова-Славская К. А. Деятельность и психология личности. М., 1980.
5. Агладзе В. А. Групповой подход к анализу неантагонистических дифференциальных игр качества: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. Рига, 1981.
6. Агладзе В. А., Пономарев Ю. П. Неантагонистические дифференциальные игры качества с антагонистическим поведением // Принятие решений: Методол., мат., психол. аспекты. Рига, 1983. С. 12—23.
7. Агладзе В. А., Пономарев Ю. П. Групповой подход к анализу управляемых динамических систем // Кибернетика. 1984. № 5. С. 8—11.
8. Айзекс Р. Дифференциальные игры. М., 1967.
9. Александрова М. А. Некоторые стороны исследования психологии способностей // Проблемы способностей. М., 1962. С. 144—153.
10. Алексеев А. В. Программное обеспечение моделей принятия решений в нечеткой среде: система ФАГОЛ // Модели и методы анализа решений. Рига, 1981. С. 132—140.
11. Ананьев Б. Г. Избранные психологические труды. М., 1980. Т. 1.
12. Анохин П. К. Проблема принятия решения в психологии и физиологии // Проблемы принятия решения. М., 1976.
13. Анохин П. К. Узловые вопросы теории функциональной системы. М., 1980.
14. Артемьева Т. И. Методологический аспект проблемы способностей. М., 1977.
15. Асеев В. Г. Мотивация поведения и формирование личности. М., 1976.
16. Беляев Г. С., Лобзин В. С., Копылова И. А. Психогигиеническая саморегуляция. Л., 1977.
17. Бехтерева Н. П. Здоровый и больной мозг человека. Л., 1980.
18. Бехтерева Н. П. О гибких и жестких звеньях мозговых систем обеспечения психической деятельности // Нейропсихология. М., 1984. С. 28—31.
19. Бессознательное: Природа, функции, методы исслед. Тбилиси, 1978. Т. 3.
20. Богоявленская Д. Б. Пути к творчеству. М., 1981.
21. Болтянский В. Г. Математические методы оптимального управления. М., 1969.
22. Борисов А. Н., Крумберг О. А. Задачи оценки и выбора альтернатив с учетом возможности событий // Модели и методы анализа решений. Рига, 1981. С. 31—43.
23. Бородин Ф. М., Коряк Н. М. Внимание: конфликт! Новосибирск, 1984.
24. Вайсборд Э. М., Жуковский В. И. Введение в дифференциальные игры нескольких лиц и их приложения. М., 1980.
25. Витцлак Г. Основы психодиагностики // Психодиагностика. М., 1986. С. 27—103.
26. Воробьев Н. Н. Теория игр: Лекции для экономистов-кибернетиков. Л., 1974.
27. Воробьев Н. Н. Теория игр. М., 1985.
28. Гараев К. Г. Методы теории групп Ли преобразований в задаче редуцирования оптимальных процессов // Сложные системы управления. Киев, 1978. С. 18—27.
29. Гиндилис Н. Л., Кедров Б. М. Типология творческой деятельности в зависимости от ступеней познания // Психол. журн. 1981. № 1. С. 7—11.
30. Голубева Э. А. Некоторые проблемы экспериментального изучения природных предпосылок общих способностей // Вопр. психологии. 1980. № 4. С. 23—37.



31. Денисов А. А. Теоретические основы кибернетики. Л., 1975.
32. Дюбин Г. Н., Суздаль В. Г. Введение в прикладную теорию игр. М., 1981.
33. Елкин В. И. Алгебраический подход в теории инвариантности управляемых систем // Кибернетика и вычисл. техника. 1978. Т. 39. С. 26—39.
34. Забродин Ю. М. Процессы принятия решения на сенсорно-перцептивном уровне // Проблемы принятия решения. М., 1976. С. 7—16.
35. Заде Л. А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М., 1976.
36. Ильенков Э. В. Диалектическая логика. М., 1984.
37. Информационные основы теории систем управления с обратными связями // Техническая кибернетика. М., 1973. Т. 5. С. 5—78.
38. Искандер Ф. О движении к добру и технике глупости // Лит. газ. 1986. № 31.
39. Калман Р., Фалб П., Арбиб М. Очерки по математической теории систем. М., 1971.
40. Кедров Б. М. В. И. Ленин о психологии // Психол. журн. 1980. № 3. С. 5—12.
41. Клаузевиц К. О войне. М., 1941.
42. Кликс Ф. Изучение способностей: На пути к когнитивной диагностике интеллекта // Психол. журн. 1984. № 5. С. 14—28.
43. Козелецкий Ю. Психологическая теория решений. М., 1979.
44. Котарбинский Т. Тратат о хорошей работе. М., 1975.
45. Кочубиевский И. Д., Король Е. В., Попова Е. К. Введение меры разнообразия процессов управления // Информационные методы в системах управления, измерений и контроля. Владивосток, 1968. С. 59—71.
46. Красовский Н. Н., Субботин А. И. Позитивные дифференциальные игры. М., 1974.
47. Крумберг О. А., Пономарев Ю. П. Элементы эргатической теории противоборства на основе пропенсивной трактовки возможностей // Управление при наличии расплывчатых категорий. Фрунзе, 1981. С. 66—68.
48. Крумберг О. А., Пономарев Ю. П. Противоборство динамических объектов и теория возможностей // Принятие решений в условиях нестатистической неопределенности. Рига, 1982. С. 49—56.
49. Крумберг О. А. Интерактивные методы анализа альтернатив в слабоструктуризованных задачах принятия решений: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Рига, 1982.
50. Крутецкий В. А. Опыт психологического анализа математических способностей школьников // Проблемы способностей. М., 1962. С. 106—114.
51. Ларицев О. И. Наука и искусство принятия решений. М., 1979.
52. Лейтес Н. С. Способности и одаренность в детские годы. М., 1984.
53. Леонтьев А. Н. О формировании способностей // Вопр. психологии. 1960. № 1. С. 7—17.
54. Ломов Б. Ф. Проблема биологического и социального в психологии // Биологическое и социальное в развитии человека. М., 1977. С. 34—65.
55. Ломов Б. Ф. Научно-техническая революция и некоторые проблемы психологии // Вопр. философии. 1981. № 2. С. 67—78.
56. Ломов Б. Ф. Методологические и теоретические проблемы психологии. М., 1984.
57. Лук А. Н. Творческое мышление в науке // Психол. журн. 1980. № 1. С. 154—162.
58. Лук А. Н. Истоки интуиции // Неделя. 1981. № 49. С. 12.
59. Льюс Р. Д., Райфа Х. Игры и решения. М., 1961.
60. Манучарова Е. Н. Личный выбор. М., 1981.
61. Меркурьева Г. В., Пономарев Ю. П., Плотников С. И. Анализ стратегий в задаче противоборства в условиях неполной и нечеткой информации // Принятие решений: Методол., мат., психол. аспекты. Рига, 1983. С. 54—64.
62. Меркурьева Г. В. Диалоговая система построения и анализа лингвистических лотерей // Прикладные задачи анализа решений в организационно-технических системах. Рига, 1983. С. 27—32.
63. Меркурьева Г. В. Человеко-машинные методы принятия решений в условиях нечеткой информации и недетерминированных исходов: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Рига, 1984.

64. Методология и методы социальной психологии. М., 1977.
65. Модели и методы векторной оптимизации // Техническая кибернетика. М., 1973. Т. 5. С. 386—448.
66. Модели принятия решений на основе лингвистической переменной. Рига, 1982.
67. Моисеев Н. Н. Неформальные процедуры и автоматизация проектирования. М., 1979.
68. Мясищев В. Н. Личность и неврозы. Л., 1960.
69. Мясищев В. Н. Проблема способностей в советской психологии и ее ближайшие задачи // Проблемы способностей. М., 1962. С. 5—14.
70. Небылицын В. Д. Психофизиологические исследования индивидуальных различий. М., 1976.
71. Овсянников Л. В. Групповой анализ дифференциальных уравнений. М., 1978.
72. Павловский Ю. Н. Групповые свойства управляемых динамических систем и фазовые организационные структуры // Журн. вычисл. математики и мат. физики. 1974. Т. 14, № 4. С. 862—872; № 5. С. 1093—1103.
73. Петров Б. Н., Уланов Г. М., Ульянов С. В. Ценность информации: Семиотические аспекты информационной теории управления и кибернетики // Техническая кибернетика. М., 1973. Т. 5. С. 193—385.
74. Покрышкин А. И. Небо войны. М., 1975.
75. Покрышкин А. И. Познать себя в бою. М., 1986.
76. Платонов К. К. Проблема способностей. М., 1972.
77. Платонов К. К. Краткий словарь системы психологических понятий. М., 1984.
78. Пономарев Я. А. Психика и интуиция. М., 1967.
79. Пономарев Я. А. Психология творчества. М., 1976.
80. Пономарев Я. А. Методологическое введение в психологию. М., 1983.
81. Пономарев Ю. П. Математическая основа построения моделей противоборства двух игроков // Прикладные вопросы теории информации и кибернетики. Рига, 1978. С. 94—98.
82. Пономарев Ю. П. Методология противоборства в теории дифференциальных игр // Там же. С. 90—94.
83. Пономарев Ю. П. Термодинамика противоборства // Прикладные вопросы теории информации и кибернетики. Рига, 1981. С. 257—263.
84. Пономарев Ю. П., Похилько А. Ф. Решение задачи векторной оптимизации на основе информационного поля // Научно-технический сборник. Рига, 1981. Вып. 20. С. 58—63.
85. Пономарев Ю. П. Вопросы моделирования операторской деятельности в условиях дефицита информации // Эффективность деятельности оператора. М., 1982. С. 96—111.
86. Пономарев Ю. П., Плотников С. И. Принятие решений в условиях конфликта // Методы и системы принятия решений. Рига, 1984. С. 14—19.
87. Пономарев Ю. П., Плотников С. И. Психологические аспекты принятия решений в условиях конфликта // Методы и системы принятия решений. Рига, 1985. С. 71—77.
88. Прибрам К. Языки мозга. М., 1975.
89. Психологический отбор летчиков и космонавтов. М., 1984.
90. Рубинштейн С. Л. Основы общей психологии. М., 1946.
91. Рубинштейн С. Л. Бытие и сознание. М., 1957.
92. Рубинштейн С. Л. Проблемы общей психологии. М., 1976.
93. Симонов П. В., Ершов П. М. Темперамент. Характер. Личность. М., 1984.
94. Солодов А. В. Теория информации и ее применение к задачам автоматического управления и контроля. М., 1967.
95. Теплов Б. М. Проблемы индивидуальных различий. М., 1961.
96. Урсул А. Д. Информация. М., 1971.
97. Чудновский В. Э. Актуальные проблемы психологии способностей // Вопр. психологии. 1986. № 3. С. 78—89.
98. Шадриков В. Д. О содержании понятий «способности» и «одаренность» // Психол. журн. 1983. № 5. С. 3—10.
99. Эшби У. Р. Введение в кибернетику. М., 1959.

100. Яковенко Г. И. Групповой подход к управляемости и инвариантности динамических систем // Кибернетика и вычисл. техника. М., 1978. Т. 39. С. 26—39.
101. Dubois D., Prade H. The use of fuzzy numbers in decision analysis // Fuzzy information and decision processes / Ed. M. M. Gupta, E. Sanchez. Amsterdam, 1982. P. 213—231.
102. Koziielecki J. Konflikt, teoria gier i psychologia. W-wa, 1970.
103. Olsder G. J., Breakwell J. V. Role determination an aerial dogfight // Intern. J. Game Theory. 1974. Vol. 3, N 1. P. 47—66.
104. Zadeh L. A. Linguistic approach and its application to decision analysis: Memorandum N ERL-M576. Berkeley, 1976.
105. Zadeh L. A. Fuzzy sets as abasis for a theory of possibility: Memorandum N UCB/ERL M 77/2. Berkeley, 1977.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ . . . . .</b>	<b>3</b>
<b>Глава 1. ПУТИ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛЕЙ КОНФЛИКТА УПРАВЛЯЕМЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ . . . . .</b>	<b>7</b>
1.1. Взаимодействие — основа построения моделей конфликта . . . . .	7
1.2. Методология реального конфликта двух игроков . . . . .	14
1.3. Математическая основа построения моделей противоборства динамических объектов . . . . .	18
1.4. Термодинамическая модель противоборства двух игроков . . . . .	26
1.5. Элементы теории возможностей и принятие решений на линг- вистическом уровне . . . . .	29
<b>Глава 2. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ КОНФЛИКТА УПРАВЛЯЕМЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ . . . . .</b>	<b>35</b>
2.1. Неантагонистические игры качества . . . . .	35
2.2. Дифференциальные неантагонистические игры качества . . . . .	41
2.3. Групповой подход к анализу управляемых динамических систем . . . . .	45
2.4. Уменьшение размерности пространства в задачах управле- ния и дифференциальных играх . . . . .	51
2.5. Решение неантагонистической дифференциальной игры каче- ства . . . . .	55
<b>Глава 3. ЛИНГВИСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ КОНФЛИКТА УПРАВЛЯЕМЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ . . . . .</b>	<b>65</b>
3.1. Анализ стратегий в задаче противоборства в условиях непол- ной и нечеткой информации . . . . .	65
3.1.1. Обоснование решений с помощью теории полезности . . . . .	66
3.1.2. Обоснование решений с помощью метода теории возмож- ностей . . . . .	77
3.2. Управление динамическим объектом как процедура много- критериальной оптимизации . . . . .	81
3.3. Задача оптимального распределения объектов в конфликт- ной ситуации . . . . .	86
<b>Глава 4. ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В КОНФЛИКТНОЙ СИТУАЦИИ . . . . .</b>	<b>93</b>
4.1. Принятие решений в ходе деятельности . . . . .	93
4.2. Принятие решений в условиях конфликта . . . . .	98
4.3. Психическое взаимодействие в реальном конфликте . . . . .	107

<b>Глава 5. ОЦЕНКА ПСИХОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ И ПРОФЕССИОНАЛЬНО ВАЖНЫХ КАЧЕСТВ ЧЕЛОВЕКА-ОПЕРАТОРА .</b>	<b>116</b>
5.1. О качественных особенностях человека-оператора, участвующего в конфликте . . . . .	116
5.2. Оценка индивидуальных различий человека-оператора, участвующего в конфликте . . . . .	128
5.3. Психологические особенности интеллектуальной регуляции деятельности человека-оператора . . . . .	134
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b>	<b>145</b>
<b>ЛИТЕРАТУРА . . . . .</b>	<b>150</b>

**Пономарев Ю. П.**

П56 Игровые модели: Математические методы, психологический анализ / Отв. ред. Б. Ф. Ломов. — М.: Наука, 1991. — 160 с.

ISBN 5-02-013389-2

Книга посвящена исследованию конфликта на математическом и психологическом уровнях в форме игровых моделей. Исследования позволили автору разработать комплекс методик профессионального отбора операторов и сформулировать требования к техническим средствам, с помощью которых моделируется ситуация конфликта.

Для психологов, социологов, математиков.

П  $\frac{0303040000-051}{042(02)-91}$  47—90—II

ББК 88.4

Научное издание

**Пономарев Юрий Петрович**  
**ИГРОВЫЕ МОДЕЛИ**  
**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ,**  
**ПСИХОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ**

Утверждено к печати  
Научным советом  
по комплексной проблеме «Кибернетика»

Редактор издательства В. В. Дюрягин  
Художник Л. А. Рабенау  
Художественный редактор И. Д. Богачев  
Технический редактор Н. Н. Плохова  
Корректоры Р. В. Молоканова и Л. В. Щеголев

ИБ № 46498

Сдано в набор 7.03.90  
Подписано к печати 20.02.91  
Формат 60×90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>  
Бумага офсетная № 1  
Гарнитура литературная  
Печать офсетная  
Усл. печ. л. 10,0. Усл. кр. отт. 10,1. Уч.-изд. л. 10,5  
Тираж 3000 экз. Тип. зак. 195  
Цена 2 р. 10 к.

Ордена Трудового Красного Знамени  
издательство «Наука»  
117864, ГСП-7, Москва, В-485  
Профсоюзная ул., 90.

Ордена Трудового Красного Знамени  
Первая типография издательства «Наука»  
199034, Ленинград, В-34, 9 линия, 12

В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «НАУКА»  
ГОТОВЯТСЯ К ПЕЧАТИ:

*Крылов В. Ю.*

ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ДАННЫХ  
В ПСИХОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

11 л. — 1 р. 20 к.

Монография посвящена проблемам математического моделирования в психологии. Дается определение предмета, объекта и методов исследования математической психологии. Основная часть монографии посвящена развитию методов многомерного шкалирования, являющихся методами математического моделирования субъективных пространств. Даны определения субъективного пространства и математической модели субъективного пространства, предложен новый метод моделирования субъективных пространств.

Для психологов, социологов, кибернетиков и других специалистов, связанных с использованием математических методов в естественных науках.

*Елифанов Е. Г., Мазепус В. В.,  
Носуленко В. Н., Цеханский В. М.*

ЗВУК В СИСТЕМЕ ПСИХИЧЕСКОЙ РЕГУЛЯЦИИ  
ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

18 л. — 2 р. 80 к.

В книге рассматриваются проблемы формирования акустической среды и ее значение для профессиональной деятельности человека: объективные характеристики и особенности, связанные с использованием электроакустической техники. Особое внимание уделяется вопросам применения функциональной музыки и ее роли в повышении производительности труда на производстве. Рассмотрены принципы построения поисковой системы для организации программ функциональной музыки.

Для психологов и организаторов психологической службы.



## ПРОБЛЕМЫ ЦВЕТА В ПСИХОЛОГИИ

14 л. — 2 р. 20 к.

В книге анализируются теоретические проблемы цвета, сферическая модель цветовосприятия, шведская система натуральных цветов и модель цветового пространства при одинаковой яркости. Представлены дискуссионные проблемы теории цвета. Рассматриваются также вопросы семантики цвета с позиции эволюции психики человека, личностные особенности восприятия, выбор цвета. Освещаются прикладные аспекты использования цвета в психодиагностике и психотерапии.

Для психологов и специалистов, интересующихся проблемами цвета.

## СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ИНЖЕНЕРНОЙ ПСИХОЛОГИИ И ПСИХОЛОГИИ ТРУДА

15 л. — 1 р. 60 к.

В сборнике представлены материалы теоретико-экспериментальных исследований психологических проблем деятельности оператора в современных системах управления. Основное внимание уделяется психологическому анализу и повышению эффективности и надежности этой деятельности. Дается характеристика структуры познавательных способностей, их диагностики и развития в обучении. Раскрываются возможности использования функциональных методов изучения системы «человек-машина».

Для специалистов в области теоретической и прикладной психологии.

Книга высылается наложенным платежом.

Для получения книг почтой заказы просим направлять по адресу: 117393. Москва, ул. Академика Пилюгина, 14, корп. 2, магазин «Книга-почтой» Центральной конторы «Академкнига»; 252107. Киев, Татарская ул., 6, магазин «Книга-почтой»; 197345. Ленинград, Петрозаводская ул., 7, магазин «Книга-почтой» Северо-Западной конторы «Академкнига» или в ближайший магазин «Академкнига», имеющий отдел «Книга-почтой».



**2 р. 10 к.**