Э.Квейд

Анализ сложных систем

АНАЛИЗ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Э. Квейд

Э. Квейд. Анализ сложных систем. // под ред. И. И. Андреева, И. М. Верещагина.— М., Советское радио, 1969, 520 с.

ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА

Непрерывно возрастающие темпы гонки вооружений — характерный показатель агрессивности американского империализма. За последние десять лет в США затраты только на военные исследования выросли в шесть раз.

В связи с ростом расходов на строительство вооруженных сил министерство обороны США уделяет большое внимание совершенствованию планирования и управления созданием вооружения. Недостатки в планировании разработок систем оружия объясняются, как считают американские специалисты, прежде всего тем, что отсутствовала научно обоснованная теория планирования развития вооруженных сил США. В результате работ коллектива ученых «Рэнд-Корпорейшен» и других научных организаций по указанию Пентагона была создана основа теории военного планирования, оформляющаяся сейчас в самостоятельную научную дисциплину — анализ систем.

В развитии анализа систем принимают участие помимо военных специалисты различных профилей: математики, экономисты, психологи, специалисты по организации и управлению, инженеры и др. Работы ведутся в различных научных учреждениях, однако особую роль играет корпорация РЭНД.

Как подчеркивают американские специалисты, для военного планирования характерны большая неопределенность при оценке основных факторов, обусловливающих выбор направления строительства вооруженных сил; здесь имеют значение темпы экономического и политического развития различных стран, соотношение сил на мировой арене, возможности научно-технического прогресса, развитие вооруженных сил вероятного противника и изменение их задач с течением времени, внутриполитическая ситуация, степень морально-политического единства и другие факторы. Рассчитывать на то, что все эти факторы могут быть определены с желаемой точностью, невозможно.

Научные методы призваны уменьшить вероятность грубых просчетов в планировании, однако полностью исключить неопределенность они не могут.

В работах американских специалистов подчеркивается, что в планировании по-прежнему решающую роль играет человек-руководитель, который принимает решение в пределах своих полномочий и несет ответственность за последствия. Роль ученых и специалистов в подготовке решения заключается в том, что они должны предоставить в распоряжение руководителя рекомендации, полученные в результате анализа проблемы, на основе которых можно принять решение. В этой связи американские ученые, разрабатывающие теоретические основы военного планирования, подчеркивают, что руководитель не должен дать себя ослепить блеском математического аппарата, использованного при подготовке вариантов решений, а обязан критически рассмотреть исходные данные и предположения, принимать решения не только в соответствии с предлагаемыми рекомендациями, полученными расчетным путем, но и в соответствии со здравым смыслом и ло-

гикой суждений.

Научные методы подготовки решений должны удовлетворять следующим общим требованиям:

- результаты, достигнутые при анализе проблемы, может воспроизвести другой ученый и при этом получить те же данные;
- все вычисления, допущения, оценки и исходные данные должны быть выполнены достаточно ясно и доступны для их проверки и критики;
- выводы не должны зависеть от личностей, репутации или частных интересов.

Основной задачей военного планирования, при решении которой американские специалисты стремятся использовать различные научные методы, считается задача выбора вариантов распределения материальных ресурсов, обеспечивающих максимальную эффективность систем вооружения. В связи с этим общая задача планирования исследований и разработок систем вооружения может быть разделена, в порядке последовательности решения, на три группы задач.

Первая группа — определение основных направлений науки и техники, в наибольшей степени способствующих созданию перспективных систем вооружения. Решение задач этой группы возможно путем прогнозирования научно-технического потенциала, оценки относительной важности отдельных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.

Вторая группа — выбор оптимального направления развития вооруженных сил, определение их структуры. Решение этой группы задач подразумевает необходимость прогнозирования военно-политической и экономической обстановки с учетом развития вероятного противника.

Третья группа — оптимизация характеристик выбранного варианта системы оружия (и ее элементов) по эффективности и полной стоимости. Решение задач этой группы предполагает выбор боевых характеристик системы оружия, обеспечивающих максимальную эффективность в предполагаемых условиях боевых действий при минимальной стоимости производства и эксплуатации.

При решении задач первой группы в США широкое развитие получили методы, основанные на систематическом использовании суждений экспертов (метод «сценариев», методика «Паттерн», проект «Форкаст» и др.).

Методика «Паттерн» является одной из первых попыток общегосударственного планирования научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ. Мы остановимся на ней несколько подробнее потому, что она уже применяется в США для планирования начальных этапов научно-технических исследований в интересах министерства обороны.

Разработчики методики «Паттерн» считали, что, только ясно представляя себе цели правительств различных государств, их экономические возможности и политическую обстановку в мире на ближайшие годы, можно оценить преимущественные направления развития науки и техники. Методику можно разделить на три этапа.

На первом этапе составляется «сценарий», в котором кратко описаны вероятная картина мира на период прогнозирования и определены политические цели государств. В сценарии, где отражены политические, экономические и военные цели США, указаны коэффициенты относительной важности основных видов мероприятий (активные боевые действия, небоевые действия, научные исследования), направленных на поддержку основных задач государства (выживаемость страны, демонстрация авторитета, общественное мнение). Сумма коэффициентов относительной важности, как для задач государства, так и для видов деятельности, необходимых для обеспе-

чения этих задач, равна единице. Затем определяют общий коэффициент относительной важности как сумму произведений коэффициента каждой из главных задач на коэффициент одного из основных видов деятельности. Эта работа производится группой экспертов, и их общее заключение отрабатывается в итоге трех туров опроса. Опыт подобных опросов показал, что результирующие оценки экспертов распределяются около близких средних значений.

На втором этапе на основе сценария строится «дерево целей». Оно состоит из ряда уровней, начиная от обязанностей правительства и кончая отдельными техническими проблемами. На каждом из уровней определены задачи и виды действий. Верхний уровень «дерева целей» характеризует три упомянутых выше вида деятельности государства, направленных на обеспечение безопасности. На следующем уровне — восемь основных областей действий (стратегические, тактические и др.) и наук (о Земле и космосе), в развитии которых заинтересовано министерство обороны США. Эти области на следующем уровне связаны зонами деятельности военных министерств и их подразделений, в развитие которых вносят вклад 161 новая научная концепция и система вооружения.

Они, в свою очередь, связаны. 425 функциональными подсистемами, которые определены как перспективные для разработки. Далее показано 850 возможных их конструктивных исполнений, содержащих 1987 технических проблем, требующих своего разрешения, прежде чем появится возможность решать задачи более высоких уровней. Элементам всех уровней соответствующие эксперты присваивают коэффициенты относительной важности. Третий этап методики «Паттерн» — информация о взаимной полезности различных направлений работ, выполненная в виде коэффициентов взаимной полезности. Эти коэффициенты представляют собой меру, характеризующую, в какой степени разрешение проблемы в одной области может способствовать снижению расходов сил и средств на разрешение аналогичной или близкой технической проблемы, входящей в другую систему вооружения.

Для более детального планирования направлений развития науки и техники и для планирования развития вооруженных сил сохраняют свое значение специальные научно-исследовательские работы по выбору направлений развития вооружения и военной техники, которые проводит каждое из военных министерств США.

Вторая группа задач (выбора оптимального направления развития вооруженных сил) решается главным образом методами военно-экономического анализа, обобщенными в новой научной дисциплине — анализе систем.

Прежде чем переходить к анализу систем, остановимся на краткой характеристике смежных с ним научных дисциплин, получивших в последнее время применение и часто упоминающихся в настоящей книге: науке об управлении, исследовании операций, системотехнике.

Наукой об управлении является к и б е р н е т и к а . Она изучает наиболее общие законы управления в системах любой природы и любой сложности. Объектом исследования в этой науке также являются системы, но только с и с т е м ы у п р а в л е н и я .

Под системой управления в кибернетике понимается взаимосвязанная совокупность элементов, предназначенных для целенаправленного воздействия управляющего органа на управляемый объект (для выполнения функции управления).

Системы управления могут иметь большое качественное различие (биологические, технические, военные, общественные системы управления), однако у всех систем есть много общего по фор-

ме. Общим для всех систем управления является структура, основные элементы (управляющий орган, управляемый объект, прямая связь, обратная связь) и информация, подлежащая переработке. Кибернетика с единых позиций изучает закономерности в функционировании систем управления различной природы.

Бурное развитие кибернетики в значительной степени обусловлено успехами в области электронных вычислительных машин. В настоящее время кибернетику обычно делят на три составные части: теорию информации, теорию алгоритмов и теорию управляющих систем.

Теория информации изучает способы передачи, переработки, хранения и выдачи информации. Она стала широко использовать математические методы после того, как было введено понятие количества информации.

Теория алгоритмов занимается изучением способов формализации процессов управления. Формализация процесса управления (или отдельной задачи) включает следующие этапы: описание процесса, разработку алгоритма и составление программы.

Описание процесса представляет последовательное изложение тех действий, которые должны выполняться при реализации данного процесса управления.

Алгоритм есть строгая последовательность простейших операций и логических условий, выполнение которых приводит к реализации процесса (решению задачи). Программа представляет систему команд, реализующих алгоритм на данной электронной вычислительной машине. Таким образом, формализация процессов управления направлена на математическое обеспечение электронных вычислительных машин и в целом автоматизированных систем управления.

В теории алгоритмов самое широкое применение получают математические методы: классические методы математического анализа, теория вероятностей, теория массового обслуживания, математическое программирование, алгебра логики и др.

Теория управляющих систем занимается анализом и синтезом управляющих систем. Таким образом, кибернетика в целом занимается анализом и синтезом систем управления. Однако системы управления представляют только часть больших систем, имеющихся в технике, природе и обществе.

И с с л е д о в а н и е о п е р а ц и й — наука, занимающаяся выработкой количественных рекомендаций, необходимых при планировании и организации операций. Под о п е р а ц и е й в смысле этой науки понимается любое целенаправленное действие человека, группы людей и систем человек — машина.

Из этого определения следует, что предметом изучения в этой науке являются операции, которые по своему содержанию имеют огромный диапазон — от простейшего действия до сложных систем. Основными методами теории исследования, операций являются математически методы, причем весьма часто они реализуются на электронных вычислительных машинах. Очень широкое применение в исследовании операций получают методы математического моделиро-

вания с реализацией как аналитических, так и статистических моделей.

В военном деле можно отметить следующие области применения исследования операций:

1. оценка эффективности отдельных комплексов вооружения и образцов военной техники;
2. оценка эффективности систем вооружения и военной техники;
3. определение боевых возможностей войск;
4. нахождение оптимальных вариантов боевых действий.

В настоящее время уже достигнуты значительные успехи при решении задач, относящихся к первым двум областям.

Трудно решаются задачи, связанные с третьей и особенно с четвертой областью.

Системотехника, или в советской литературе теория больших систем, является молодой наукой, изучающей методы синтеза больших систем на основе изучения способов функционирования отдельных ее элементов. Теория больших систем является пока больше наукой технической, результаты которой используются при проектировании систем любой природы.

Следует отметить исключительно важное значение в современных условиях этой теории. Наше время характерно, прежде всего, наличием большого количества сложных систем в технике, экономике, в военном деле и т.д. Особенностью сложных систем являются информационные процессы, реализуемые в элементах системы и направленные на обеспечение оптимального управления. В связи с разработкой больших систем возникает много важных проблем, одна из которых заключается в том, чтобы построить большую систему по заданным ее функциям. По нашему мнению, теория больших систем является чрезвычайно перспективной, развитие которой позволит более успешно решать практические вопросы в области управления.

Рассмотренные молодые науки — кибернетика, исследование операций и теория больших систем имеют бесспорное право на самостоятельное существование, хотя у них есть смежные области, иногда достаточно спорные.

Возникает вопрос, есть ли необходимость в самостоятельном существовании и развитии еще одной науки, занимающейся вопросами изучения систем анализа систем, которой посвящена данная книга. Чтобы ответить на этот вопрос, необходимо кратко рассмотреть предмет, содержание и методы анализа систем. Заметим заранее, что хотя почти каждая глава книги начинается с определения анализа систем, тем не менее, четкого толкования предмета и содержания этой науки дать еще не удалось. Это в значительной степени объясняется молодостью нового научного направления. Анализ систем — логико-аналитический метод, применяемый для перспективного планирования при создании сложных систем и проведении крупных мероприятий в условиях неопределенности.

Анализ систем возник как развитие методологии исследования операций. Основное отличие анализа систем от исследования операций заключается в предмете исследования и методах.

Предмет исследования анализа систем — сложные ситуации и системы, для которых необходимо, прежде всего, определить задачи и направление действий.

Предмет теории исследования операций — некоторое целенаправленное действие, причем опре-

деление задачи и действий не входит непосредственно в исследование операций, поскольку они являются, в сущности, ограничениями, накладываемыми на параметры операции. Применительно к военным проблемам, рассматриваемым в настоящей книге, все задачи анализа систем можно разбить на три вида:

1. задачи, связанные с созданием основ общей структуры вооруженных сил. При решении этих задач американские специалисты исходят из военной доктрины государства, стратегии, задач вооруженных сил, состояния экономики, науки и техники, с учетом всех возможностей противника;
2. задачи, связанные с формированием требований, которым должны удовлетворять системы оружия, чтобы быть эффективными для решения задач видов вооруженных сил. По существу это является развитием первого вида задач анализа систем в более детализированном виде;
3. задачи, решение которых направлено на эффективное использование средств, выделяемых на разработку систем вооружения.

Методы анализа систем близки к методам исследования операций, однако имеются и характерные отличия.

Основное различие в методах обеих дисциплин заключается в том, что в исследовании операций наибольший объем занимают математические методы, тогда как в анализе систем они являются подспорьем логическим методам. Исключительно важное значение в анализе систем придается методам экономической оценки, учета противодействия противника и неопределенностей.

Анализ систем обычно идет в следующей последовательности:

- - постановка задачи;
- - выбор альтернативных путей решения задачи;
- - исследование ресурсов, расходуемых на решение задачи;
- - составление модели;
- - выбор критериев оценки;
- - сравнение альтернатив и принятие решения.

П о с т а н о в к а з а д а ч и является самым важным элементом анализа систем и включает формулировку существа проблемы, границы исследования, исходные данные и выявление целей.

Выбор а л ь т е р н а т и в н ы х п у т е й р е ш е н и я з а д а ч заключается в перечислении тех альтернатив (средств), которые по предварительным соображениям могут быть использованы для решения поставленной задачи. В процессе исследования происходит отсев некоторых альтернатив и включение новых.

И с с л е д о в а н и е р е с у р с о в , расходуемых на решение задачи, представляет важный этап экономических исследований, на котором определяются материальные ресурсы, а также их стоимостные выражения, необходимые для решения задачи. Обычно выбор систем оружия производится по минимуму стоимости при заданной эффективности.

С о с т а в л е н и е м о д е л и — этап исследования, на котором разрабатывается некоторый аналог реального процесса путем учета наиболее существенных факторов математическими зависимостями (аналитические модели), с помощью электронной вычислительной машины (машинные модели) или с помощью специальной «игры» (игровые модели).

Моделирование в анализе систем будет занимать все большее место, особенно в связи с развити-

ем методов математического моделирования и электронных вычислительных машин.

Выбор критериев оценки является исключительно ответственным этапом анализа систем и заключается в указании такой величины (системы величин), по численному значению которой можно судить об успешности решения задачи. Как подчеркивается в данной книге, выбор критериев всегда труден. Эти трудности усугубляются тем обстоятельством, что военное планирование идет на самых различных уровнях руководства, и цели действий на одном уровне могут быть только средством для реализации целей другого, более высокого уровня. Для удовлетворительного действия методов анализа систем считается важным, чтобы критерии, принимаемые на каждом уровне руководства, были увязаны в единую логическую систему.

Разработку единой системы критериев для принятия решений на всех уровнях руководства министерства обороны США следует считать одним из важных результатов внедрения анализа систем в практику руководства строительством вооруженных сил США.

Важнейшим критерием на высшем уровне (на уровне руководства министерства обороны) является критерий, выражающий соотношение стоимости и. эффективности системы.

Сравнение альтернатив и принятие решения — последний этап анализа, на котором сравниваются средства решения поставленной задачи по выбранному критерию. Кроме количественной оценки различных альтернатив могут быть приведены и логические суждения, указывающие на предпочтительность той или иной альтернативы по сравнению с другими.

Анализ систем еще очень молодая наука, существующая всего около десяти лет. Методы анализа систем еще весьма несовершенны и не четко очерчены, а, следовательно, не всегда могут дать удовлетворительные рекомендации для принятия решения. В настоящее время в анализе систем еще очень значительное место занимают интуиция и субъективные суждения исследователей.

Анализ систем может найти применение не только в военном деле, в области перспективного планирования систем оружия, военной техники, но и в технике, экономике.

Дальнейшее развитие количественных методов, умелое их сочетание с эмпирическими и логическими методами, развитие методов эвристического программирования и математического моделирования позволит анализу систем стать важной самостоятельной наукой.

Предлагаемая советскому читателю книга «Анализ сложных систем» представляет обработанный курс лекций, прочитанных для группы офицеров вооруженных сил и гражданских лиц, занимающихся военными проблемами, специалистами фирмы «Рэнд-Корпорейшен». Как известно, РЭНД является организацией, основу деятельности которой составляет научное исследование и изучение проблем, связанных с подготовкой США и их вооруженных сил к ведению войны. Этот «мозговой трест» США, вербующий ученых различных специальностей, занимается изучением большого круга вопросов, решение которых направлено на удовлетворение агрессивных намерений политических и военных руководителей США.

Заранее заметим, что книга написана в духе «холодной» войны. Во многих местах ее говорится об «агрессии Советского Союза», о «коммунистической угрозе», о необходимости со стороны США проведения стратегии «массированного возмездия», стратегии «устрашения» и т.д. Приводится много примеров, связанных с расчетами на поражение объектов Советского Союза, с необходимостью нанесения упреждающего ядерного удара и ряд других примеров, указывающих на подлинно агрессивную сущность американского империализма. По этой причине сокращены гл. 3

и 10, так как опущенные нами разделы совершенно не носят научного характера, а написаны с позиций американского империализма, носят явно авантюристический характер в духе ненависти к Советскому Союзу. Кроме опущенных разделов, в книге встречаются места, написанные в духе «холодной» войны. Читатель, критически относящийся к тексту, легко отсеет подобные вздорные утверждения американских авторов и сосредоточит свое внимание на тех местах книги (а они занимают основной объем), которые представляют научную ценность.

Книга, безусловно, полезна специалистам, занимающимся приложениями теории исследования операций к военным проблемам и разрабатывающим вопросы теории военного искусства, а также лицам, занимающимся применением теории исследования операций в экономике, технике и других областях. Главы книги далеко не равноценны по качеству изложения материала, форме и объему. Кроме того, материал во многих главах повторяется.

Книга «Анализ сложных систем» состоит из трех частей и обобщенной главы. В части 1 (главы 1–3) излагается сущность анализа систем, его возникновение и возможности приложения к военным проблемам (в терминологии авторов — к проблемам национальной безопасности). Часть II (главы 4–8) посвящена рассмотрению методов анализа систем, учету неопределенностей, анализу и построению конфликтных ситуаций. Часть III (главы 9–16) включает специальные вопросы, относящиеся к приложениям анализа систем, такие, как роль стоимости, учет противодействия противника, теория военных игр и ее роль в анализе вероятностей, динамическое программирование и другие, не затронуты.

В главе 14 рассмотрено применение электронно-вычислительных машин в анализе систем. Здесь много говорится об осторожности при использовании ЭВМ, об ограниченных логических возможностях, поскольку не проанализированы перспективы развития машин.

Глава 15 посвящена учету экономики при анализе систем, и ее содержание представляет несомненный интерес. Ценным материалом является анализ чувствительности стоимости при изменении отдельных параметров (своеобразные частные производные от функции стоимости по отдельным параметрам). В главе рассматривается важное требование представления результатов анализа стоимости в удобном для понимания руководителями виде.

Глава 16 носит название «Опасности анализа систем» и рассматривает типичные ошибки, которые могут возникнуть на различных этапах анализа. Автор достаточно подробно излагает влияния тех или иных допущений на отдельных этапах анализа систем: при постановке задачи, на этапах поиска, толкования и решения.

Глава 17 является заключительной, в которой кратко подводятся итоги изложения предыдущих глав, указывается на необходимость четкой постановки проблемы при использовании анализа систем, разработки адекватной с реальной действительностью модели, учета противодействия противника, неопределенностей, стоимости и использования в работе специалистов различных профессий.

В книге имеется два приложения: А и Б. Приложение А посвящено проблеме создания базы на Луне, предназначенной для военного использования (рассматриваются и научные аспекты). Материал главы носит специальный характер, представляет некоторый самостоятельный интерес, однако он не совсем удачно связан с анализом систем.

В приложении Б рассматривается задача сравнения двух ракетных систем по критерию стоимость — эффективность, отличающихся друг от друга системами наведения и типами силовой

установки. В модели учитывается уязвимость ракет на земле и противоракетная оборона противника. Представляет интерес совокупность вопросов, которые после анализа могут быть заданы руководителю работы, и ответы на них.

В настоящее время, когда широко внедряются научные методы во все области человеческой деятельности, знакомство с новыми развивающимися направлениями по вопросам управления имеет важное практическое и теоретическое значение.

Анализ систем относится к этим новым направлениям, дальнейшее развитие которого, с непременным практическим отношением к его методологическим основам, может оказать безусловную помощь при решении проблем планирования в условиях неопределенности.

Перевод выполнен: И. М. Верещагиным — гл. 8, 9, 12, 13, 15, 16, 17, приложение Б; А. Г. Лебедевым — гл. 4–7; Н. А. Малярщиковой — приложение А; Г. М. Смахтиным — предисловие, гл. 1–3, 10, 11.

В заключение выражаю глубокую благодарность Верещагину И. М. за большую работу, проделанную им как при переводе, так и при редактировании книги.

Доктор военных наук Андреев И. И.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Корпорация РЭНД является частной бесприбыльной организацией, основу деятельности которой составляет проведение научной работы и исследований в области проблем национальной безопасности. Работая для ВВС США, РЭНД сыграла ведущую роль в разработке подхода к анализу, названному анализом систем и предназначенному для оказания помощи при решении сложных вопросов, связанных с выбором одного из многих вариантов в условиях неопределенности (например, при рассмотрении проблем национальной обороны). Этот подход, установившийся в методике анализа операций во время второй мировой войны, в настоящее время применяется к проблемам разработки вооружения, разоружения или при выработке политики устрашения противника, а также к собственно военным операциям. Тем не менее, его методология не разработана полностью и не совсем еще понятны причины успехов и неудач его применения.

В 1955 г., а затем и в 1959 г. РЭНД организовала уплотненный пятидневный курс лекций, названный «Использование анализа при подготовке военных решений», для офицеров вооруженных сил и для гражданских лиц, связанных с вооруженными силами. Предназначенный в основном для лиц, принимающих решения по проблеме, а не для анализирующих ее, этот курс не был попыткой обучения исследованию операций, а преследовал цель показать слабости и возможные неправильности, а также эффективность аналитического подхода к перспективному военному планированию. Курс основан на предпосылке, что принимающий решение может, не зная, как проводить такой анализ, оценить его качество и уверенно использовать результаты анализа.

В этой книге содержатся лекции (часть из них в значительно переработанном виде), которые читались по этому курсу, а также приведены некоторые дополнительные материалы. Книга не может служить справочником по анализу систем или учебником по проведению анализа при подготовке военных решений. Эта работа представляет собой попытку дать критическую оценку анализу систем. Однако идеи и методы, рассматриваемые в книге, будут полезны тем, кто связан с военной, областью национальной безопасности, а также могут быть легко приспособлены к планиро-

ванию и анализу во многих невоенных областях.

Главы книги даются не в той последовательности, в какой читались лекции курса; они сгруппированы в зависимости от содержания предмета. Главы первой части касаются вопросов происхождения и развития метода анализа систем и его отношения к планированию в области национальной безопасности.

Первая часть книги состоит из введения, обзора анализа военных систем и описания примера такого анализа. Большинство поставленных здесь вопросов рассматривается более подробно в последующих главах. В качестве примера анализа систем в упрощенной форме описывается случай фактически проведенного исследования. Этот пример дается для иллюстрации элементов и языка анализа, показа подхода к анализу проблемы, а также для указания трудностей, с которыми может встретиться анализирующий ее специалист. В главах второй части книги рассматриваются элементы и методы, общие для всех видов анализа систем, а в главах третьей части — специальные аспекты анализа систем. В конце книги дается обобщающая глава и две дополнительные, в которых приводятся гипотетические примеры.

ВЫРАЖЕНИЕ ПРИЗНАТЕЛЬНОСТИ

Труды такого рода отражают усилия многих людей, не называемых в оглавлении. Это те люди, кто действительно работал над анализом систем и потом сознательно обдумывал методологию, развивал идеи и методы, учился на своем собственном опыте.

Авторы благодарны многим ведущим специалистам и консультантам РЭНД, критически рассмотревшим первоначальный текст лекций и данную подборку лекций. Особую признательность мы выражаем Герману Кану, Б. Клейну, С. Линдблому, Ирвину Манну, А. У. Маршаллу, Л. Дж. Сэведжу и Дж. Д. Уильямсу, Д. М. Форту. Многие их идеи, а иногда даже и формулировки из разных неопубликованных статей или устных выступлений приводятся в лекциях без специального упоминания об этом. В частности, в гл. 8 использованы замечания Л. Дж. Сэведжа, многие из которых включены почти дословно.

Мы выражаем также общую признательность всем специалистам РЭНД, так как список отдельных лиц, оказавших нам помощь в систематизации материала, содержащегося в этих лекциях, охватил бы почти всех сотрудников РЭНД.

Изложенные в книге взгляды являются выражением точки зрения отдельных лекторов и не должны восприниматься как мнение корпорации РЭНД или как мнение какого-либо ответственного за эту организацию лица.

ОРИЕНТАЦИЯ

Так как, правильное решение любой проблемы зависит прежде всего от верного понимания того, что в действительности она собой представляет и в чем ее сложность, вероятно, полезно было бы перед тем, как, приступить к предмету нашего изучения, рассмотреть в общем виде действительный его характер; причины, которые создают препятствия в нормальной работе; условия, от которых зависит успех или неудача в работе; направления, в которых более всего следует опасаться ошибки. Это позволит нам с большей полнотой постичь основную предпосылку успеха в любой работе, а именно четко осмысленную перспективу, что оградит нас от смешивания очевидного с важ-

ным, непонятного и отдаленного с не имеющим значения.

Артур Меллен Веллингтон

1. ВВЕДЕНИЕ

Э. Квейд

В прошлых войнах первый удар редко бывал решающим. У Соединенных Штатов всегда было достаточно времени для производства своего оружия, обучения своих войск и планирования своей стратегии. Наличие у противника ядерного оружия лишает теперь любого обороняющегося времени на то, чтобы после начала боевых действий создать или развернуть свое оружие или даже решить, что с ним делать. Выживание нации, возможно, в значительной степени зависит от ее способности решать проблемы современной войны заблаговременно, учитывая при этом, что опыт предыдущих войн вряд ли может стать надежной основой для решения этих задач. Многое из того, что может быть связано с будущим конфликтом, нельзя решить иным путем, кроме расчетного. Нет никакого другого способа установить количество ракет, необходимых для уничтожения группы целей, или определить, как сохранить узел связи при разрыве поблизости от него бомбы с зарядом, эквивалентным 20 мегатоннам тринитротолуола, или осуществить надежное разоружение.

Для определения политики в области обороны стало важным проведение системных количественных исследований физиками, социологами, инженерами в сотрудничестве с военными специалистами. Эти исследования охватывают широкий круг вопросов: от проблем повышения эффективности обычных коммерческих операций и работы промышленности внутри страны на оборону (вероятно, в этом самая плодотворная роль этих исследований)[1] до выработки рекомендаций тем, кто принимает решения в самых широких вопросах национальной безопасности. Исследования, проводимые в целях выработки таких рекомендаций, называемые анализом систем, и являются предметом этой книги. Содержание этой главы посвящено описанию развития, характера и применения анализа систем.

В момент катастрофического военного положения, создавшегося в Англии в ходе второй мировой войны, лица, ответственные за оборону этой страны, решили привлечь физиков, биологов, математиков и других высокообразованных специалистов к решению чисто военных проблем. Привлечение специалистов было вызвано не только глубиной переживаемого тогда кризиса, но и появлением нового оружия, основывающегося на новых методах производства, которые не были известны из прошлого военного опыта. Это оружие и системы оружия (ярким примером является радиолокатор) были настолько новыми по замыслу и конструкции, что их применение нельзя было планировать только на основе обычного военного опыта. Потребовались новые методы анализа, которые были разработаны во время второй мировой войны и положили начало области знаний, названной в то время анализом операций, а позднее, в зависимости от применения,— исследованием операций, системотехникой, анализом эффективности затрат и анализом систем. Успех небольших, но достаточно организованных усилий в Англии послужил толчком для развития-деятельности в этом направлении, и, как этого можно было ожидать, привлечение ученых[2] способствовало решению проблем, которые обычно считались вне их компетенции.

Применение анализа операций никоим образом не ограничивается только военными вопросами.

[1] У англичан — операционный анализ.

[2] Привлечение ученых для облегчения решения военных проблем, относящихся к их области деятельности, восходит, по крайней мере спорадически, к античным временам.

Названия, данные различным видам применения этого анализа, отражают в некоторой степени цель анализа и область, в которой он применяется. Наиболее известным термином является «исследование операций». Оп употребляется как в узком значении — для обозначения анализа, целью которого является повышение эффективности организованных систем «машина — человек», так и в широком значении, охватывающем почти все виды количественного анализа. В частности, термин нередко применяется при исследованиях проблем национального (или ведомственного) планирования и политики, где идея повышения эффективности почти бессмысленна[3]. В последующих главах он используется именно в этом значении. В таком толковании термин идентичен (или должен быть идентичен!) области знаний и методам, которые мы называем анализом систем[4]. В других значениях этот термин является уже установившимся, но также не всегда. Если, например, говорят о планировании или проектировании новых промышленных или военных систем, как для лучшего проведения операций, так и для осуществления операций, ранее никогда не проводившихся, то часто применяют термины «исследование систем» или «системотехника». Анализ проблем, относящихся к эффективному управлению и контролю существующих систем, называется «наукой управления». Если основное внимание уделяется выявлению различия в потребных затратах и средствах между альтернативами достижения определенной цели, то этот анализ можно назвать анализом эффективности затрат. Термин «исследование операций» используется почти равнозначно термину «наука управления», но он, вероятно, более применим к тем исследованиям коммерческой и государственной деятельности, где большее внимание уделяется методологии решения, а не его реализации.

В военном контексте термин «анализ систем» применяется очень широко для обозначения любого системного подхода к сравнению альтернатив. Таким образом, хотя характер анализа, предлагаемого для решения такой, например, проблемы, как улучшение боевых характеристик радиолокационной сети, вероятно, по своей сущности отличается от анализа, целью которого является достижение устойчивого термоядерного равновесия в мире, они оба будут служить примерами анализа систем. Термин «исследование операций» или используемый в настоящее время в военном деле эквивалентный ему термин «анализ операций» можно с достаточным основанием употребить для обозначения усилия по повышению эффективности радиолокационной сети; но для исследования, которое можно успешно применить для решения проблемы более высокого уровня, потребуется уже новый термин. Между прочим, не системный характер этих исследований, а природа исследуемых предметов явилась первоначально причиной появления этого термина. Первые послевоенные исследования были посвящены, прежде всего, рассмотрению систем оружия. Проведение работ по оценке систем, естественно, получило название анализа систем, так как позволяло принимающему решение производить выбор систем, оценивать способность оргсистемы к решению поставленных задач или устанавливать рамки, в которых можно было подготавливать испытание системы.

На основании истории его развития и применения анализ систем можно было бы охарактеризовать как исследование, которое помогает тому, кто принимает решение, выбрать направление действий путем системного изучения своих собственных целей, количественного сравнения затрат, эффективности и степени риска, связанных с осуществлением альтернатив политики или стратегии, необходимых для достижения поставленных целей, *а также путем формулирования дополнительных альтернатив, если изученные альтер-*

---

[3] С этим нельзя согласиться; в политике, как и в любом другом виде общественной деятельности, применение научных методов исследования позволяет достичь поставленных целей с меньшими усилиями, *(Прим. ред.).*

[4] К сожалению, термин «анализ систем» употребляется иногда в гораздо более узком значении, чем в этой работе. Например, он используется для определения этапа системотехники (см. A. D. H a l l . A. Methodology for Systems Engineering. D. van Nostrand Co., Inc., Princeton, № 1., 1962, p. 9). В коммерческом мире он обычно применяется для определения анализа систем деловых контор.

нативы окажутся недостаточными. Анализ систем представляет собой подход к рассмотрению или способ рассмотрения сложных проблем выбора в условиях неопределенности (например, проблем, связанных с национальной безопасностью). При рассмотрении таких проблем преследуемых целей обычно бывает много, и они могут быть противоречивыми; анализ, позволяющий облегчить принятие решений, должен по необходимости включать в себя немалую долю суждения.

Понятие анализа систем отнюдь не является понятием, связанным исключительно с военными системами. Этот метод широко используется управляющими и инженерами крупных промышленных предприятий, например телефонных компаний и фирм, занимающихся производством электроэнергии и ее распределением. Он является средством отыскания рекомендаций, как спроектировать или эффективно использовать со временем технически сложную структуру, в которой различные компоненты могут иметь явно противоречивые назначения, т. е. как найти подход к выбору стратегии, которая дает наилучшее соотношение степени риска, эффективности и затрат. Цель анализа систем — путем рассмотрения каждого элемента системы в его собственной среде добиться того, чтобы, в конце концов, система в целом могла выполнить свою задачу при минимальном расходе ресурсов.

Анализ обычных систем в коммерческой деятельности проще по двум причинам: во-первых, в таком анализе имеется одна общая цель — максимизация прибыли, которую можно измерить и выразить в тех же единицах, что и затраты; во-вторых, конфликт там играет незначительную роль.

Как указывал Альберт Волстеттер, кому-то из «Белл телефон системе» приходится беспокоиться из-за жетонов для телефонных автоматов или пятицентовых монет, опускаемых в монетники, но в целом представителям этой фирмы не приходится волноваться из-за того, что кто-то мог бы создавать помехи для их передач в широковолновом диапазоне и нарушать обычную коммерческую деятельность фирмы в мирное время .

Аналитические исследования, проводимые сегодня военными организациями, подрядчиками в промышленности или такими организациями, как РЭНД, которые специально были созданы для проведения такой работы, оказывают существенное влияние на принятие многих военных решений, особенно тех, которые имеют отношение к созданию нового оружия и систем оружия для военно-воздушных сил США. Действительно, характер проблем национальной безопасности так сильно изменился за последние два десятилетия, что принимающему решение военному специалисту независимо от области его деятельности не остается ничего другого, как дополнять своим суждением и опытом результаты, полученные с помощью анализа систем. Для уяснения значения анализа систем, может быть, особенно полезно перейти от расплывчатого определения, подобного приведенному выше, к тому, что под этим определением подразумевается. Это лучше всего осуществить, вероятно, противопоставляя анализ систем чисто научным исследованиям, анализу операций и исследованию операций, понятие о которых определено достаточно точно.

Если наука в своей чистой форме «дает только силу, но не направление» (как однажды заметил Кулидж, размышляя об уроках первой мировой войны), то нетрудно видеть, что управление (или манипулирование) этой силой является в лучшем случае квазинаучным делом, даже если к этому привлекаются сами ученые. Авторы одной из первых работ по анализу систем «Отчет о международном контроле по атомной энергии» изложили свою задачу так: «Мы имеем дело не просто с военной или научной проблемой, а, скорее, с проблемой, связанной с искусством управлять государством и свойствами человеческой души». Это замечание показывает разницу между наукой как таковой и анализом систем. Цель анализа систем заключается, скорее, не

только в том, чтобы просто понять и предсказать, но и в том, чтобы предложить линию поведения или по меньшей мере дать совет. Следовательно, анализ систем непосредственно подчинен «философии практики» — рассмотрению некоторых разнообразных и сложных насущных вопросов, представляющих практический интерес.

Использование анализа для подготовки тех или иных решений в коммерческой деятельности, в вопросах обороны или государственных делах давно уже стало широко распространенным явлением. Но, даже предположив, что эта «научная» помощь не является полной, если она не включает некоторые рекомендации в отношении курса действий, ее нельзя определить как анализ систем, так как многое из того, что связано с этой помощью (например, то, что выступает под названием статистической теории решений, проектирования методов или контроля качества), находит применение только в очень узкой области. При рассмотрении более широких проблем национальной безопасности или военного планирования (и «искусства управлять государством и свойствами человеческой души») необходим совсем иной подход, и сами ученые оказываются более полезными, чем методы, с которыми их обычно ассоциируют.

Анализ систем — метод более сложный, более емкий, чем метод анализа операций периода второй мировой войны, хотя оба они применяются в военном деле. Во время второй мировой войны ученые занимались вопросами повседневной деятельности военной организации. Они не занимались поиском путей устранения всяких войн, ликвидации возможности их возникновения или предотвращения развязывания войны противником, а если эти меры окажутся безуспешными, то поиском путей выживания в условиях беспрецедентной катастрофы[5]. Например, одной из важных проблем того времени являлось установление оптимальной методики поиска, с помощью которой наши миноносцы могли бы обнаруживать лодки противника, угрожавшие нашим конвоям. Сегодня специалист по анализу систем должен рассматривать подводные лодки не только как угрозу мореплаванию, но и как угрозу для береговых объектов. Чтобы противодействовать этим угрозам, он должен оценить целесообразность использования совершенно новых сочетаний средств обнаружения и перехвата, часть которых еще не создана или даже не разработана, а также соответствующую тактику их использования. Он должен не только рассмотреть возможность того, что миноносец в будущей мировой войне будет служить только средством противолодочной обороны, но и проанализировать многие проблемы, которые в связи с существованием подводных лодок, угрожающих объектам и на земле, и на море, относятся к вопросу сохранения мира на земле. Анализ операций в 1939–1945 гг. был связан в основном с «тактическими» проблемами, касающимися использования боевой техники в операциях ближайшего будущего, или техники, поступающей на вооружение. Специалисты, помогающие сегодня военным, призваны в основном решать чрезвычайно трудную проблему проектирования и разработки систем оружия, которые могут устареть прежде, чем закончится их разработка. Решения, принятые в отношении этого оружия, может быть, скажутся на качестве вооруженных сил не ранее, чем через пять-десять лет, или даже позже. Кроме того, неопределенность в отношении будущего означает, что многие факторы, которые можно считать «данными» при исследовании современных операций, становятся «параметрами» при исследовании будущих операций. Следовательно, количество вопросов, требующих тщательного и полного исследования и истолкования, значительно возрастает. Это относится не только к таким вопросам, как реакция противника, технический прогресс, политическое и экономическое положение, но также и к квазинаучному, полуфилософскому выбору общих целей и к правилам выбора из имеющихся альтернатив. Соображения технологического характера, особенно связанные с быстрым темпом изменения оружия и его почти экспонентным усложнением, в настоящее время так же важны, как и обычные политические, экономические и военные факторы. Излишне доказывать, что эти соображения, особенно если учитывать еще и существование противника, действия которого хра-

[5] Подготовлен группой консультантов для комиссии по атомной энергии при государственном секретаре.

нятся в тайне, делают чрезвычайно рискованным любое предсказание об обстановке, в которой должны использоваться оружие или стратегии, и влияние их использования на эту обстановку. В области долгосрочного военного планирования, характерного для анализа систем, необходимо заменить частичные оптимизации компонентов, которые может давать анализ операций, полным рассмотрением, где основное внимание уделяется целостному одновременному изучению каждой крупной относящейся к рассматриваемому вопросу проблемы.

В известном смысле основное различие между анализом систем и исследованием операций, возможно, заключается лишь в придании расширенного значения проблемам во втором случае. Значительная часть работы на раннем этапе направлялась на то, чтобы выделить математические модели и методы оптимизации. Тогда ценили практиков, которые использовали или улучшали математические методы — линейное программирование или теорию массового обслуживания — и находили им новое применение. Эти специалисты обычно ассоциировались с лицами, принимающими решение, знающими, какие у них цели и как подсчитать затраты на достижение этих целей на основе одного четкого критерия. Хотя в анализе систем используются часто те же математические методы, он ассоциируется с таким классом проблем, трудность которых заключается в необходимости решить, *что* следует сделать, а не просто *как* это сделать. Поэтому теперь ценят специалистов, которые способны или могут по счастливой случайности понять, что представляет собой проблема. Таким образом, общий анализ, вероятно, будет более сложной и менее ясной и упорядоченной процедурой, редко пригодной для количественной оптимизации. Фактически этот процесс в значительной степени представляет собой синтезирование: среду придется предсказывать, альтернативы проектировать и правила использования изобретать. Поэтому с анализом систем ассоциируют слова и выражения: «широкий», «дальний», «высокий уровень», проблемы «выбора целей» и «выбор стратегии», «суждение», «качественный» и «содействие логическому мышлению». В противоположность этому с исследованием операций связывают выражения и слова «более низкий уровень», «общая максимизация», «измерение», «количественный», «средство завершения» и «оптимальное решение».

Короче говоря, анализ оружия или стратегий будущего представляет собой новый вид проблемы, по существу отличной от любой проблемы, рассматривавшейся анализом операций в период второй мировой войны или даже войны в Корее. Условия анализа систем и исследования операций разные. Для анализа систем имеется больше времени, используются многочисленные вычислительные машины, существует значительное количество данных мирного времени, но фактически нет никакой необходимой информации об использовании систем оружия в боевой обстановке. Характер исследования также разный. Ставятся вопросы различных видов (включая вопрос; в чем заключается вопрос?), должно рассматриваться одновременно большое количество взаимозависимых факторов, не существует очевидных правил выбора одной операции по сравнению с другой и важнейшую часть любого исследования составляют вопросы, связанные с установлением оценки и определением политики.

Для более четкого понимания смысла нашего формального определения рассмотрим относительно узкую проблему, для решения которой, возможно, окажется полезным метод анализа систем: проблему выдачи рекомендации по выбору зенитной ракеты следующего поколения из нескольких возможных ракет. Как сделать лучший выбор? Инженеры обычно рассматривают данные военных летательных аппаратов с точки зрения таких качеств, как дальность действия, скорость, высота полета, скороподъемность, маневренность и точность попадания в цель. Иногда говорят, что отличным аппаратом будет тот, в котором значения нескольких таких параметров работы аппарата будут по возможности более высокими. Но ясно, что это утверждение бессмысленно, так как такие качества не являются независимыми величинами[6]. Рассмотрим, например, си-

[6] Такое расширенное толкование областей применения метода анализа систем (в том числе «искусства управлять

стемы наведения и управления.

Даже без специального «системного» рассмотрения может показаться очевидным, что если повысить точность попадания нашей ракеты, то будет сбито больше ракет или самолетов противника. Однако отсюда никак не следует, что самая эффективная общая система обороны обязательно будет такой, в которой используются самые меткие ракеты, или где имеется высший потенциал для уничтожения летательных аппаратов противника.

Любые числовые значения, которыми измеряется возможность поражения цели ракетами системы ПВО, должны зависеть, по меньшей мере, от четырех факторов:

1) от количества пусковых позиций ракет, в пределах дальности которых должны летать вторгающиеся в обороняемую зону самолеты или ракеты противника;

2) от количества ракет, которые можно запустить в течение того времени, когда противник будет находиться в пределах дальности действия ракет;

3) от вероятности успешного пуска ракеты и

4) от вероятности поражения цели ракетой.

Повышение точности наведения ракеты, по-видимому, позволило бы увеличить вероятность поражения цели. Но общее улучшение возможности поражения целей наблюдалось бы только в том случае, если бы значение других факторов не понизилось существенно в результате тех изменений, которые необходимы для достижения такого улучшения точности наведения.

Если для повышения точности наведения ракеты необходимо, например, добавить дополнительное оборудование, то в результате увеличения веса ракеты может уменьшиться ее дальность действия или скорость. Это, в свою очередь, может привести к уменьшению количества используемых в бою ракет. Усложнение системы наведения может повести к снижению надежности ракеты. Кроме того, увеличение стоимости ракет с повышенной точностью наведения может привести к использованию меньшего количества стартовых позиций и меньшего количества ракет. Поэтому окончательный выбор проекта должен проводиться на основе компромисса в отношении многих переменных величин. Один рабочий параметр, например дальность действия или точность наведения, не может быть мерой внутренней ценности проекта ракеты.

Анализирующий систему должен придерживаться системного подхода, т. е. рассматривать проблему в целом. Чтобы дать разумную рекомендацию, он должен изучить не только рабочие параметры. Ему следует рассмотреть факторы, влияющие на боевые действия и службу тыла (мобильность, средства связи, запасы, обслуживание и ремонт техники, личный состав и его подготовка). Прежде чем рекомендовать новый вид топлива для ракеты, которое позволит увеличить дальность ее действия, он должен изучить последствия этого решения для службы тыла. Топливо может оказаться настолько токсичным, что потребует необычно сложного оборудования для его доставки и хранения. В этом случае общие характеристики системы могут опять понизиться или повысятся издержки на нее, несмотря на то увеличение дальности действия, которое при этом может быть достигнуто. В наше время — время существования оружия устрашения — необходимо учитывать также некоторые менее очевидные факторы (состояние готовности ракеты, ее уязвимость, помехоустойчивость ее систем), которые могут влиять

государством и свойствами человеческой души») является философски неверным и не соответствующим самому содержанию метода. Анализ систем есть логико-математический метод, позволяющий получать рекомендации при принятии решения. *(Прим. ред.)*.

на действенность фактора устрашения и само оружие, а также определять стоимость системы. Уверенность в том, что после нападения противника можно будет произвести пуск ракеты, может быть, имеет большее значение для национальной безопасности, чем точность ее наведения.

Таким образом, при рассмотрении даже такой довольно ограниченной проблемы, как выбор зенитной ракеты, необходим системный подход. Несмотря на кажущуюся простоту проблемы, легких ее решений найти невозможно. Контекст любого решения, как мы уже показали, должен охватывать все, относящееся к каждому варианту системы. Простейшая категория анализа систем, проиллюстрированная на только что приведенном примере, связана с выбором из сходных по существу вариантов одного, необходимого для выполнения данной задачи. Следовательно, возможные варианты систем ракет могут значительно отличаться друг от друга точностью поражения цели, дальностью действия, полезной нагрузкой и некоторыми другими характеристиками, такими, как состояние боевой готовности. Однако они, вероятно, будут сходны в тех основных аспектах, где неопределенности являются самыми большими, например в соотношении их характеристик в боевой обстановке и на испытательном полигоне, в реакции противника на их разработку и использование и в вопросах их материально-технического обеспечения. Но именно эти неопределенности, рассматриваемые вместе с более важным решением о приобретении оружия такого рода, фактически обеспечивают простоту анализа. Так как эти виды оружия по существу являются сходными средствами для выполнения одних и тех же задач и время их создания примерно совпадает, большая часть неопределенностей, вероятно, будет влиять на все проекты разработки оружия в одном направлении и приблизительно в одинаковой степени. Следовательно, если и не удастся учесть должным образом такие неопределенности, это, вероятно, не помешает провести сравнение видов оружия. Кроме того, в анализе систем, где альтернативы являются относительно одинаковыми, довольно легко принять меры для уменьшения воздействия неопределенности на выбор между альтернативами. Приняв, таким образом, решение о том, что нам необходимо, можно перейти к следующему этапу анализа.

После того как принято решение о целях и определен способ измерения военной эффективности системы, анализ становится анализом *эффективности, затрат.* Такой анализ обычно выступает в одной из двух эквивалентных форм. Для данного требуемого уровня военной эффективности можно попытаться определить, какой вариант или комбинация вариантов связана с наименьшими затратами, или при определенном уровне расходов установить, какой вариант или их комбинация приведет к максимальной эффективности. Но в любом случае полный анализ потребовал бы проведения многочисленных частных исследований, о которых мы уже упоминали.

С другой стороны, более широкой проблемой анализа систем может быть проектирование всей системы ПВО Соединенных Штатов. Это было бы трудным делом, но не только из-за более широкого диапазона проблемы. Ценность системы ПВО определяется не только ее способностью предотвратить поражение в случае внезапного нападения противника, которое может явиться началом новой мировой войны. В мирное время система ПВО обеспечивает охрану границ и не допускает вторжения противника в воздушное пространство страны. Лучшей защитой было бы предотвращение войны и, если война наступит, недопущение военных действий на территории нашей страны. Однако осуществление любого из этих положений зависит, по меньшей мере, как от имеющейся наступательной боевой мощи вооруженных сил и проводимой национальной политики, так и от состояния ПВО (и может быть, в гораздо большей степени). Поэтому даже проблема нахождения рабочей основы для соглашения о целях и критериях, вероятно, не будет легкой.

Но если допустить, что критерии и цели установлены опытным путем, то останутся существенные практические трудности. Тут необходимо будет распределить ресурсы между вариантами подсистем, выполняющими дополнительные, но по существу различные задачи, например между радиоло-

каторами и противоракетами. Но даже если мы будем рассматривать оружие, по существу имеющее одни и те же цели (например, зенитные ракеты для ПВО отдельных объектов и зенитные ракеты, предназначенные для ПВО районов), и то возникнут новые трудности, обусловленные тем, что такие факторы, как время оповещения, необходимое для развертывания ракет, целесообразность их применения при разной тактике противника и даже структура их обеспечения могут быть совершенно различными. Уровень знания в отношении различных систем также будет разным. Разумеется, при оценке требований к техническому обслуживанию или надежности самолетов можно использовать большой опыт прошлого. По ракетам же такого опыта не накоплено. Еще более серьезным является влияние неопределенностей в отношении вариантов подсистем, которые способствуют уменьшению ущерба совсем другим образом, например таких подсистем, как укрытия и сигнальные ракеты. Далее, так как лучший способ предупредить нанесение ущерба заключается в том, чтобы не допустить войны, как мы уже об этом говорили выше, при проведении анализа приходится учитывать, как любое сочетание оружия будет сказываться на вероятности возникновения войны, а также на вероятности выживания, если война начнется.

Ясно, что при анализе многочисленных элементов этой более широкой проблемы, часть которых имеет огромнейшее значение, не приходится полагаться на количественные или точные критерии. К сожалению, эта ситуация, вероятно, носит перманентный характер. Следовательно, с этим обстоятельством по необходимости будет связано немало субъективных суждений, и это иногда может привести к полной несостоятельности анализа систем как аналитического метода. Но, несмотря на недостатки, связанные с аналитическим подходом к рассмотрению современной войны (кстати, некоторые из них можно, в конечном счете, исправить), метод анализа систем в том виде, в каком он существует сегодня, может при умелом его использовании давать такие результаты, которые невозможны ни при одном другом методе. Если принять это мнение, а также учесть, что общая обстановка, которая привела к развитию анализа операций во время второй мировой войны, существует и сегодня в промышленности и в военном деле, то, по-видимому, будет полезно и необходимо кое-что узнать о том, как применять этот метод на практике.

Существуют курсы и учебники для подготовки специалистов в области исследования операций и проектирования систем . В них в основном рассматриваются математический аппарат и методы решения проблем, записанные в виде математических символов. Но основные трудности в большинстве случаев анализа систем связаны не со сложнейшими математическими методами, так как более простые и обычные математические методы являются достаточными для решения проблем в весьма многих случаях. Важно отметить, что действительные трудности при попытке проанализировать широкие проблемы, с которыми сталкиваются военные органы и правительство в процессе принятия решений, возникают в ином плане. Они, скорее, относятся к постановке и выявлению сути проблемы, установлению правила выбора альтернатив и интерпретации результатов исследования, чем к использованию исследователем его средств и методов. При использовании математических методов или неумении их использовать возможны неожиданные осложнения, но крупные и часто совершаемые ошибки в большинстве случаев имеют другие причины.

Корпорация РЭНД проводила в течение ряда лет широкий анализ военных проблем. В этот период неоднократно высказывались пожелания, чтобы РЭНД разъяснила методы, применяемые ею в этих исследованиях. Нас это радовало, но нам было нелегко решить, как сделать так, чтобы не предлагать еще одного обсуждения математических методов в ответ на эти просьбы. Хотя мы узнали за время своей работы немало того, что могло бы принести пользу каждому, кто пытается применить анализ в процессе принятия военных решений, однако мы не знаем, как представить в абстрактном виде сводку правил, которые при точном их соблюдении автоматически гарантировали бы плодотворный подход к решению таких широких и сложных проблем, с которы-

ми сталкиваются военные, не говоря уже о деятелях делового мира и членах правительства.

В свете этих трудностей не только в практике проведения анализа, но и в понимании и применении его результатов мы пришли к выводу о том, что серия неофициальных лекций для военных и гражданских лиц, занятых оценкой и использованием аналитических исследований, могла бы в большей степени содействовать надлежащему использованию анализа, чем любое более официальное мероприятие по их обучению применению установившихся методов. Так как основное внимание пришлось бы по необходимости уделить идеям и принципам, мы полагали, что при таком подходе можно почерпнуть сведения, которые нельзя найти в обычных учебниках по исследованию операций.

Поэтому лекции адресовались, скорее, «потребителю» анализа систем, а не его «производителю». Это различие мы проводим потому, что оба они несут разную ответственность перед своими организациями. Человек, ответственный за принятие решений, основанных на анализе, должен прислушиваться к мнению других лиц, не будучи в состоянии проверить источники происхождения этих идей. Таким образом, многие его решения основываются на его суждении о компетентности других лиц, а также зависят от степени понимания того, что они пытаются ему сообщить. Тем не менее, гражданский или военный руководитель, который решается действовать только потому, что ученый или инженер заверяет его в успехе, идет на значительный риск. Он, по меньшей мере, должен задавать вопросы тем, кто дает ему информацию, и пытаться как-то убедиться в том, что представленные ему выводы либо согласуются со здравым смыслом, либо не согласуются.

Предлагаемая читателю книга должна облегчить этот процесс. Она появилась в результате развития представления о возможности оценки качества анализа систем и достаточно уверенного использования его результатов без специальной подготовки в области анализа систем. Командующий авиацией на поле боя может оценивать усилия, затраченные на планирование материально-технического обеспечения боевых действий, и полностью полагаться на это обеспечение, не прибегая к необходимости дублирования каждого этапа его планирования. Наша цель заключается в том, чтобы познакомить именно с этим видом оценки результатов анализа систем, и мы в этой книге очень мало говорим о таких узко специальных вопросах, как теория игр, линейное и динамическое программирование и метод Монте-Карло, которые являются обычными средствами исследователя операций. Эти средства и методы рассматриваются в других работах. Мы же уделяли внимание почти исключительно рассмотрению идей и принципов анализа систем.

Эти лекции, основанные на критическом подходе к роли анализа систем, в некоторых деталях отличаются друг от друга, но их объединяет представление о том, что решение широких военных проблем требует интуиции, умения анализировать, делать выводы, а также то, что модели и результаты вычислений сами по себе не могут давать решений. В лекциях показано, как анализ может способствовать получению необходимых сведений, как он иногда может заменить опыт и, что важнее всего, как он может способствовать обострению интуиции. В целом, в работе сделана попытка показать, что системный, воспроизводимый анализ, разработанный для условий, позволяющих сочетать знания специалистов многих областей науки и техники, может привести к результатам, которые превосходят возможности любого отдельного специалиста.

2. АНАЛИЗ И ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ В ВОЕННО-ВОЗДУШНЫХ СИЛАХ

Ч. Дж. Китч

Впервые формальные аналитические методы как средство, обеспечивающее принятие военных

решений, были широко применены во второй мировой войне группами экспертов, занимавшимися анализом операций.

Но проводившиеся во время второй мировой войны работы по своему характеру были очень ограниченными. Они делались с учетом применения военных *операций* в ближайшем будущем, в отношении того, как применять имеющееся вооружение и другую боевую технику. Такой анализ не делался при принятии решений в отношении структуры сил или разработки боевой техники, влияние которых сказывается на вооруженных силах в более отдаленном будущем и которые требуют анализа будущего. Отчасти поэтому работы такого типа были простыми в том смысле, что они учитывали только небольшое количество взаимозависимых факторов. Анализирующий операцию, как правило, мог использовать какую-нибудь весьма очевидную и прямую цель или критерий в качестве обоснования для выбора одного из ее вариантов.

Типичным примером проблемы по анализу операций во время второй мировой войны был выбор строя бомбардировщиков при нанесении удара по целям в глубине Германии. Эта проблема характеризовалась малым количеством переменных величин и очевидным критерием было сведение *к* минимуму потерь при достижении заданного разрушения или уничтожения цели.

После войны РЭНД и другими организациями были сделаны попытки использовать аналитические методы как средство, обеспечивающее принятие военных решений по проблемам гораздо большей сложности. При описании этих сложных анализов появилась тенденция использовать термин «анализ систем», однако четкой границы между этим термином и термином «анализ операций» нет. И анализ операций, и анализ систем являются попытками применить научные методы к важным проблемам принятия военных решений. Оба типа анализа имеют одни и те же существенные элементы:

- *цель* или ряд целей;

- альтернативные средства (или *«системы»),* с помощью которых можно достичь цели. (Этими средствами могут быть различные системы оружия или различные способы применения системы оружия);

— *«затраты»,* или ресурсы, необходимые при использовании каждой системы;

- математическая или логическая *модель* или модели, т.е. ряд зависимостей между целями, альтернативными средствами их достижения, окружающей средой и ресурсами;

- *критерий* выбора предпочтительной альтернативы. Критерий обычно устанавливает некоторое отношение между целями и затратами на их достижение, например достижение максимума целей при некоторых предположенных или заданных затратах.

После окончания второй мировой войны произошли важные изменения в методике анализа операций и в его распространении. Мы сделаем краткий обзор методов анализа для каждого рассматриваемого случая.

2.1. Использование анализа при подготовке решений по структуре сил и

разработке вооружения

Решения по структуре сил и разработке вооружения не обязательно связаны с применени-

ем аналитических методов, отличных от тех, которые применяются при решении задач операций. Однако эти методы, вероятно, должны отличаться, так как такие проблемы связаны с войнами будущего, а когда мы всматриваемся в будущее, то это сопровождается тем, что в нашем анализе увеличивается количество переменных величин, умножается количество неопределенностей и становятся подходящими различные виды целей. Историческим фактом является то, что попытка применить анализ при решении проблем разработок вооружения (корпорацией РЭНД и другими организациями) привела к существенным достижениям в использовании аналитических методов во всех этих областях.

2.2. Увеличение количества переменных величин

Если мы вместо современных военно-воздушных сил будем рассматривать те, которые появятся через три-пять лет, то в этом случае нам придется учитывать гораздо большее количество различных переменных величин. Все виды величин, которые являются известными для ближайшего будущего, с течением времени становятся переменными величинами. Например, во время второй мировой войны при проведении анализа в отношении строя бомбардировщиков было известно, что будут использоваться бомбардировщики типа B-17, Количество их было известно, цели были заданы, количество бомб известно, сведения об обороне противника известны и т.д. Для будущего эти сведения не даются, они неизвестны.

Эти данные становятся переменными величинами. Некоторые переменные величины управляемы нами, некоторые управляемы противником, а некоторые не подвластны никакому контролю. Но тем не менее все они являются переменными величинами и все они взаимосвязаны.

Для иллюстрации того, как при этом может увеличиться количество сравниваемых систем, рассмотрим относительно простой случай анализа проблемы разработки бомбардировщика, целью которого будет выбор лучшего варианта самолета. Предположим, что мы безжалостно сократим количество необходимых характеристик самолета до трех: скорость, дальность и высота полета. Что еще нам придется принять во внимание при оценке эффективности бомбардировщиков будущего? По меньшей мере, следующее: строй, который они будут использовать, их траекторию полета до цели, обеспечение базами, характер цели, бомбы и противодействие противника. Такой перечень параметров не кажется большим (фактически их должно быть гораздо больше), но если мы ограничимся только десятью параметрами и допустим, что каждый параметр имеет только два варианта значений, то нам уже придется вычислить данные и сравнить их для 2^{10} случаев (2^{10} > 1000). Если допустить, что каждому параметру соответствуют четыре варианта значений, то у нас уже будет 4^{10} случаев (4^{10}> 1000000).

Исходя из этих же допущений, можно сказать, что во время второй мировой войны при решении проблемы о строе бомбардировщиков все эти параметры были даны, за исключением строя и, возможно, траектории полета. Поэтому простой переход к будущему (вместо рассмотрения решений об операциях к рассмотрению решений о закупке и разработке боевой техники) может нас привести совсем к другому положению.

Как поступить, когда мы сталкиваемся с необходимостью провести сравнение миллиона или миллиарда или 10^{33} случаев и сделать расчеты для них? Разумеется, мы разрабатываем более быстродействующие вычислительные машины и приобретаем все больше опыта в использовании их, и я не хочу преуменьшать значение этого прогресса. Но возможности современных быстродействующих вычислительных машин не бесконечны, и при этом обычно возникают новые ограничения. Нам, например, приходится вводить в машину соответствующие данные и зависимости по всем этим рассматриваемым системам. Чем больше количество параметров, с которыми мы имеем дело, тем

больше требуется времени и людей для этой работы, а время и люди являются ценными ресурсами, которых всегда не хватает.

И тогда по той или иной практической причине следует большие сложные проблемы как-то упрощать. Нам приходится упрощать практические проблемы, т.е. выбирать те переменные величины, которые особенно важны для принятия решения, над подготовкой которого мы работаем, и опускать остальные. А это требует здравого суждения, так как равносильно принятию решения о том, что имеет важное значение и что неважно в структуре анализа.

Многие примеры анализа систем оказываются непригодными именно в этом отношении. Они или включают массу данных и требуют проведения многих вычислений, которые являются просто излишним грузом, или не учитывается действительно критический фактор, от которого зависит принятие хорошего решения.

2.3. Подробное рассмотрение неопределенностей

Неопределенности также умножаются, когда мы смотрим в будущее. А нам приходится это делать, так как анализ систем всегда имеет отношение не к прошлой войне, а к будущей.

Нам необходимо различать несколько видов неопределенностей.

Первый вид — это неопределенность *факторов, связанных с планированием* (ожидаемые потери, средняя ошибка бомбометания и многие другие исходные данные в нашем анализе).

Второй вид — неопределенность в отношении *противника и его реакций.*

Третий вид — неопределенность в отношении вопросов *стратегии.* Произойдет ли война в период, охватываемый нашим анализом? Будет она всеобщей или локальной? Какие будут политические трудности? Кто будет нашим противником, и кто будет нашим союзником? Можем ли мы положиться на Англию? на Югославию? на штат Мэн? При анализе, касающемся очень близкого будущего, стратегические неопределенности такого вида иногда незначительны, например, при решении типичной проблемы по анализу операций во время второй мировой войны. В более отдаленном будущем эти неопределенности могут стать доминирующими. При анализе структуры сил или проблем разработки боевой техники их нельзя игнорировать. Например, на структуру военно-воздушных сил может сильно повлиять наше мнение об относительной вероятности больших и малых войн. Кто нам может сказать об этом? Вы, может быть, скажете, что президент или комитет начальников штабов. Но правительство или комитет начальников штабов могут лишь повлиять на эту вероятность; вне их контроля па эту вероятность влияют и другие факторы, и анализ каким-то образом должен учитывать все эти возможности.

Четвертый вид неопределенности, которая часто доминирует в проблемах, связанных с разработкой новой техники — это неопределенность в области *техники.* Например, до тех пор, пока водородная бомба не была испытана, существовала реальная неопределенность в отношении того, будет ли бомба действенным оружием и, если да, то когда. Это обстоятельство глубоко влияло на принятие всяких видов решений и на структуру анализа многих систем оружия. Техническая неопределенность всегда в какой-то степени существует при проведении исследований и разработок.

Наконец, существует *статистическая* неопределенность, которая происходит от элемен-

та случайности в реальном мире.

Что мы делаем при анализе систем для того, чтобы учесть это обилие неопределенностей? Самый важный совет: не игнорируйте их. Основывать паше решение на каком-то одном ряде «лучших догадок» было бы гибельным делом. Предположим, что существует неопределенность в отношении десяти факторов (например, можем ли мы рассчитывать на заокеанские базы и будут ли перехватчики противника эффективны на высотах около 18 км?), и мы делаем лучшее предположение по всем десяти факторам. Если вероятность реализации каждого из этих предположений составляет 0,6, то вероятность их совместной реализации не превышает 0,005. Если бы мы ограничивались лучшими предположениями, мы бы в этом случае игнорировали результаты с вероятностью появления 0,995.

Проблема разбивается на две части: во-первых, как нам вычислить все «интересные» случайности,— это по существу технический вопрос. И, во-вторых, что значительно труднее, когда мы вычислим их (мы почти всегда устанавливаем, что одна стратегия лучше в некоторых случаях, другая — в других случаях), как выбрать лучшую стратегию? Какое решение можно порекомендовать?

Предположим, мы установили, что система стратегических бомбардировок, опирающаяся на заокеанские базы, будет наиболее эффективна в 1960–1965 гг. Предположим далее, что мы рассматриваем как вполне вероятную, но не как достоверную возможность, будто у нас будут в этот период времени заокеанские базы. Предположим, наконец, что если у нас не было бы этих баз, то система была бы очень плохой. Что нам делать в этом случае?

В частности, мы можем вычислить и привести к максимуму средний, или «предполагаемый», результат. Но мы все знаем недостатки этого метода. Он может привести к выбору безрассудной стратегии и к возможной катастрофе. Вполне возможен выбор системы, которая не хороша в среднем случае, но удовлетворительна во всех интересующих нас случаях. Предполагаемые результаты, во всяком случае, игнорируют то обстоятельство, что мы имеем дело с противником, способным к разумному выбору стратегии.

Теория игр предлагает, чтобы мы в этих условиях добивались «минимакса», т.е. выбрали систему, которая сводит к минимуму самое худшее, что может случиться с нами. Но это тоже не совсем удовлетворительное решение. Во многих случаях этот метод не свободен от противоположной ошибки. Он слишком консервативен, и при нем теряется возможность использовать ошибки противника или то, что нам известно о его склонностях.

Таким образом, удовлетворительного общего решения этой проблемы просто не существует. Разные люди придерживаются разных взглядов на риск, как в отношении своей собственной жизни, так и при принятии решения за нацию. Одни играют смело, другие избегают риска. Что же остается делать человеку, занятому анализом систем? Он часто высчитывает предполагаемые результаты или минимаксное решение или и то и другое, но при интерпретировании итогов своей работы он сознает их минусы. Однако он не останавливается на этом. Имеются особые приемы в области анализа систем, используемые в тех случаях, когда неопределенности имеют огромную важность. Приведем примеры:

а) занимающийся анализом системы пытается изобрести новую систему, которая хороша или почти хороша при наличии заокеанских баз и в то же время достаточно хороша при отсутствии таких баз. Мы называем систему, которая является лучшей в любых условиях, «надежной» или «доминирующей». Редко можно найти истинно доминирующую систему, но иногда, если мы искусны, мы можем подойти к ней близко. Занимающийся анализом систем не ограничивается сравнением

известных систем. Наибольшая ценность *анализа систем заключается часто в стимуле, который он дает для изобретения лучших систем;*

б) если не удается найти доминирующее решение, то приходится вычислять затраты, необходимые для того, чтобы застраховаться от грозящей катастрофы, может быть, как в приведенном выше примере с заокеанскими базами, путем создания военно-воздушных сил смешанного состава, которые будут иметь значительное количество самолетов сверхдальнего радиуса действия. Тогда военно-воздушные силы, принимая оперативное решение, будут, по крайней мере, знать, какова стоимость страховки;

в) если готовится решение по разработке вооружения, то можно рекомендовать разработку таких самолетов и ракет, которые не будут зависеть полностью от наличия заокеанских баз. Обстановка может быть более ясной через несколько лет, когда придется принимать решение о массовых закупках. Мы можем разрабатывать больше типов вооружения, чем приобретать их в большом количестве, и, зная об относительно малой стоимости разработки, мы так и должны поступать. На этой стадии застраховаться дешевле. При проведении анализа необходимо остерегаться безоговорочного ответа на вопрос «или… или», когда лучшим ответом, может быть, является «оба».

2.4. Противник

Главная трудность в решении военных проблем состоит в неизменном отказе противника от сотрудничества. Противник осложняет нам жизнь и затрудняет наш анализ. В ряде случаев учет действий противника является непременным условием для принятия правильного решения, например, в непрекращающемся соревновании между радиопротиводействием и мерами борьбы с ним. Но поведение противника может быть решающим фактором также и во многих менее очевидных примерах. Поэтому существует большой интерес к разработке моделей, которые учитывают и противодействие противника.

Имеется два вида моделей: *модели, рассматриваемые теорией игр,* и *игровые модели* (т. е. военные игры).

Теория игр — это такой раздел математики, который изучает конфликтные ситуации. К. сожалению, эта теория все еще не вышла из стадии своего младенческого возраста . Поэтому существует сильная тенденция к тому, чтобы вместо теории игр применять военные игры. Были разработаны игры, которые в отличие от традиционных военных игр позволяют проводить их многими способами, так что можно проверить ряд возможных стратегий в условиях противодействия противника. Военные игры, как и теория игр, далеки от того, чтобы быть вполне удовлетворительным средством, но по другим причинам. Различные игроки играют по-разному, причем некоторые, вероятно, играют слишком хорошо, чтобы представлять национальные правительства. Обычно невозможно проверить, какие факторы являются определяющими для результата игры. Поэтому результаты интерпретировать трудно.

2.5. Учет фактора времени

Во многих военных проблемах решающее значение имеет последовательность событий. Например, должны ли мы приступить к созданию некоторой определенной противоракетной обороны теперь или ждать два года, пока не будет разработана лучшая оборона?

Для рассмотрения таких проблем нам необходимы «динамичные» модели, т.е. такие модели,

параметры которых учитывают сроки. У нас есть такие модели, но полное введение времени в них не является ни легким, ни безвредным, потому что:

- это усложняет вычисления из-за увеличения количества параметров, так как в этом случае для каждого периода времени у нас их целый ряд. Поэтому если мы вводим время, то, может быть, нам надо отказаться от чего-нибудь другого;

- усложняет выбор критерия. Решение *А* может быть лучше для 1960 г. и хуже для 1962 г.; решение Б — наоборот;

- остро поднимает вопрос о нашей способности к прогнозированию. Например, будет ли эта, гораздо лучшая, ракета создана всего лишь через два года?

2.6. Расширение критериев

Выбор целей и критериев часто является центральной проблемой структуры анализа любых систем. Выполнения каких задач мы хотим в действительности добиться с помощью наших систем? Каким образом нам проверить другие системы, чтобы узнать, какая лучше всего отвечает нашим целям?

Мы уже видели, что при решении типичной проблемы по анализу операций во время второй мировой войны из этих затруднений обычно можно было найти довольно простой очевидный выход, так как многое было дано или неизменно. Так, в примере со строем бомбардировщиков мы можем выбирать между строем, который дает максимальное поражение цели при данных потерях в самолетах, и строем, который делает минимальными потери в самолетах при заданном разрушении цели. Эти критерии, хотя и выглядят разными, логически эквивалентны друг другу и поэтому дают один и тот же ответ.

В противоположность этой проблеме рассмотрим проблему выбора бомбардировщиков и ракет для включения их в состав стратегической авиации США в середине 60-х годов. Какие при этом ставятся цели? Выполнения какой задачи мы хотим потребовать от стратегического авиационного командования США? Конечно, быть средством устрашения. Но какого вида? Для предупреждения внезапного нападения на Соединенные Штаты или для предупреждения агрессии на Среднем Востоке? Эти задачи могут весьма по-разному сказываться на составе военно-воздушных сил. Каким образом можно измерить степень устрашения? И будет ли устрашение единственной целью? Очевидно, нет. По возможности мы хотим также, чтобы стратегическое авиационное командование было средством укрепления наших союзов, чтобы оно не вызвало войны по ошибке и чтобы оно эффективно вело борьбу в случае неудачи политики устрашения. Но если мы стоим перед выбором, то нам необходимо иметь критерий или правило, с помощью которого мы, по крайней мере, сможем приблизительно измерить степень устрашения противника.

Ответить на эти вопросы трудно. Но на них приходится отвечать и отвечать правильно, чтобы наш анализ систем чего-нибудь стоил. Вот еще один пункт, где здравое суждение должно пронизывать анализ. Работа над анализом систем с плохим критерием равносильна ответу на неправильно поставленный вопрос. Даже при самых совершенных методах анализа можно избрать критерий для выбора оптимальной структуры вооруженных сил или системы оружия для несправедливой и несвоевременно начатой войны (справедливости ради следует заметить, что ту же ошибку легко совершить и без анализа систем).

В некоторых (фактически в большинстве) сложных случаях поиски *какой-то* цели и единого кри-

терия слишком трудны. Нам приходится подвергать ряду испытаний наши системы и продвигаться на ощупь к лучшей или хорошей системе, руководствуясь главным образом здравым смыслом.

Длинный перечень трудностей и ограничений позволяет с полным основанием поставить вопрос о целесообразности анализа военных систем.

Первое, что надо подчеркнуть при ответе на него, это то, что почти все эти трудности свойственны самой природе военных проблем. В анализе систем переменных много только потому, что в решении сложных военных проблем многие вещи действительно важны. Реальные проблемы связаны с неопределенностями, которые представляют загадочный противник и нечеткая постановка национальных целей. Нельзя возлагать вину за трудности на аналитические методы.

Прежде чем что-нибудь сказать вообще о полезности анализа систем, мы должны знать, что мы можем предложить взамен. Если мы определяем анализ систем в широком смысле, как включающий в себя разнообразные методы, упомянутые нами ранее, то какова альтернатива? Рассмотрим ее в двух планах.

Система или не система? Если сосредоточиться на втором слове в выражении «анализ систем», то альтернативой системному подходу будет подход несистемный или стремление рассматривать проблему как состоящую из несвязанных между собой частей.

Это различие является вопросом широты контекста. В принципе можно пытаться получить по интуиции ответы в широком или узком контексте или применить анализ в широком или узком контексте.

Было бы неверно утверждать, что широкий контекст хорош, а узкий плох. Все зависит здесь от характера проблемы. Контекст систем может быть тоже широким, и в этом случае приводит к расточительности. Если вы ученый, пытающийся разработать материалы, выдерживающие высокую температуру в ракетном двигателе, ваши шансы на успех будут ограничены той степенью, в какой вы посвящаете время и энергию рассмотрению относительной вероятности больших и малых войн. История свидетельствует, что прогресс в науке и технике почти всегда достигался в очень узком направлении учеными, которые сосредоточивали свое внимание па узких вопросах.

Тем не менее, имеются случаи, когда системный подход, систематическое рассмотрение вариантов в широком плане проливают свет на важные проблемы. Таким случаем является выбор системы авиабаз. Я приведу другой пример, который неожиданно возник несколько лет назад во время изучения проблем обороны корпорацией РЭНД. В то время в соответствии с доктриной боевого использования некоторые истребители-перехватчики несли на себе такое оружие, которое по оценке командования ПВО обеспечивало вероятность поражения перехватчиком каждого второго бомбардировщика противника. Для большинства летных экипажей ВВС вероятность 0,5 представляется весьма внушительной по нормам второй мировой войны.

Что мы обнаружили, когда изучали эту доктрину в контексте систем? По существу следующее:

а) в отличие от обстановки во время второй мировой войны, когда удары с воздуха были непрерывными, на этот раз мы готовились к обороне против одного, в крайнем случае не-

скольких, массированных атомных ударов;

б) общая стоимость закупки и содержания системы перехватчиков, обеспечивающей вывод самолетов в зону боя и пуск ракеты по бомбардировщику противника, была столь высокой, что даже самые большие расходы на оружие перехватчиков слабо сказывались на общей стоимости;

в) увеличение численности оружия повысило бы вероятность поражения бомбардировщиков противника до 0,75 и незначительно ухудшило бы характеристики перехватчиков;

г) поэтому, очевидно, было неправильно экономить на оружии. Правильное решение заключалось в том, чтобы насыщать перехватчики таким количеством оружия, какое они смогут нести на себе.

Таков был тогда важный результат рассмотрения проблемы систем в широком контексте. При этом фактически не было необходимости в проведении сложных вычислений. Эта проблема стала очень простой, как только вы начали думать о ней должным образом. Анализ систем вынуждает самого исследователя и военных, в интересах которых он ведет анализ, рассматривать всю проблему в контексте систем.

Анализ и интуиция. Теперь обратимся к первому слову в выражении «анализ систем». Альтернативой анализа, как мне кажется, является интуиция.

Главное, что я хотел бы подчеркнуть,— это то, что можно было бы назвать неизбежностью анализа. То, что мы называем интуицией, представляет собой разновидность логического анализа. Она использует в нашем сознании модели упрощенных понятийных копий действительности. И неудивительно, что при рассмотрении военных проблем, как и многих других, иногда полезно подкрепить наш слабый мозг некоторой помощью извне, использовать карандаш, лист бумаги, несколько уравнений, настольную вычислительную машину и в особых случаях сложную статистическую и математическую теорию или быстродействующие машины.

Но я не собираюсь отказываться от интуиции. Человеческий разум без помощи извне обладает весьма замечательным искусством решения некоторых видов проблем. Например, благодаря интуиции была решена проблема коммивояжера. Эта известная математическая проблема долго ставила в тупик математиков. В одном из ее вариантов коммивояжер, выезжающий из Вашингтона, должен посетить 48 главных городов штатов и вернуться в Вашингтон по кратчайшему пути. Оказывается, что число возможных маршрутов составляет 10^{e2}. Несмотря на такое огромное количество вариантов, сотрудники РЭНД с помощью булавок, куска веревки и своей интуиции открыли кратчайший маршрут.

Человеческий ум обладает огромными достоинствами по сравнению с любой машиной, если их рассматривать как соперников или как взаимоисключающие факторы.

По сравнению с машиной ум человека имеет емкую память, которая позволяет ему учиться на своем опыте. У него есть замечательное свойство выделять важные переменные и подавлять остальные. Именно по этим причинам люди превосходят машины в шахматной игре и в военных играх.

При более внимательном рассмотрении становится явным, что, во-первых, неправильно смотреть на интуицию и анализ, на ум и машины как на соперников или взаимоисключающие факторы. При правильном использовании они дополняют друг друга. Мы уже видели, что каждый анализ

систем пронизан интуицией и рассуждением. Любое решение, которое кажется основанным на интуиции, вероятно, принимается с помощью своего рода анализа.

Во-вторых, хотя интуиция способна давать удивительные результаты, как свидетельствует решение задачи о коммивояжере, она может также и не принести успеха. Не буду приводить примеров. У каждого читателя есть свои.

В-третьих, недостатком интуиции является то, что без аналитической проверки вы, скорее всего, не знаете, насколько она справедлива. Например, интуиция была достаточно хороша для решения задачи о коммивояжере, но мы не знали об этом до тех пор, пока не решили задачу аналитическими методами. Военная авиатранспортная служба США также не знала о том, что ее распределение самолетов по маршрутам было оптимальным всего лишь в 5% случаев, пока нами не было найдено решение аналитическим путем.

И, наконец, аналитические методы и вычислительные машины позволяют нам делать то, что сделать другим путем было бы невозможно. Может быть, по объему памяти эти средства не имеют преимуществ, но они обладают такими возможностями, каких нет у мозга человека, если ему на помощь не приходит техника. Очевидно, это справедливо в отношении быстродействующих вычислительных машин. Но давайте посмотрим на пример другого рода — на проницательность, основанную на знании теории. Возьмем вновь созданную теорию — теорию игр, над которой я иронизировал как над теорией очень ограниченного применения.

В связи с проводимыми корпорацией РЭНД исследованиями проблем обороны нас долго интересовала задача оптимального распределения ограниченных средств ПВО по объектам неравной ценности. К сожалению, удовлетворительного общего правила мы не нашли, но теория игр дала нам ценные рекомендации и позволила понять суть проблем.

Вот примечательный пример. Предположим, что вы распределили свои средства обороны возможно лучшим образом, а затем получили дополнительные средства обороны. Как вы их разместите?

Так вот моя интуиция (и большинства других людей) подсказывает, что их следует выделить в основном для защиты тех объектов (других городов, портов, авиационных баз и объектов), для обороны которых ранее у вас не доставало средств.

Теория игр доказывает, что такое решение неправильно. Дополнительные средства следует использовать для усиления существующей системы обороны, а не для ее расширения. Вообще, чем больше у вас средств, тем больше должна быть их концентрация.

Узнав об этом парадоксе, вы начнете думать о нем и искать его разумное объяснение. Усиление вашей оборонительной мощи эквивалентно ослаблению наступательной мощи противника. Но по мере ослабления его мощи он вынужден все больше и больше сосредоточивать силы против ваших самых важных объектов, чтобы добиться хоть чего-нибудь стоящего. Поэтому именно вокруг этих объектов вы должны концентрировать свои средства обороны.

Одна интуиция не подсказала бы нам этого, во всяком случае ее определенно недостаточно, чтобы заставить вас действовать таким образом.

2.7. Заключение

В заключение зададим вопрос: помогает ли анализ больше при решении проблем в узком плане,

как он обычно применялся учеными, или при решении проблем в широком плане, что представляет собой особую область анализа систем? Исходя из опыта работы, определенно следовало бы сказать, что полезность анализа проблем в широком плане относительно не доказана. Однако разрешите мне указать на причину, почему, когда мы рассматриваем широкие проблемы, полный анализ с использованием ясных моделей может быть особенно важным.

Мы доверяем интуиции человека в той области, в которой этого человека можно считать специалистом. Но при решении сложных проблем в отношении структуры сил или разработки боевой техники мы имеем дело с такой широкой областью, в которой нет истинных знатоков. Анализ систем требует, как правило, учета многообразных факторов в самых различных областях техники, военных операций, тылового обеспечения не только у нас, но и у противника, учета экономических, политических и стратегических факторов и сложных связей между ними. Ни один человек не может быть специалистом более чем в одном или двух разделах области, никто не может быть специалистом в области в целом и в ее взаимосвязях. Поэтому в этой HiOBirgo нельзя доверяться ничем не подкрепленной интуиции одного человека.

На анализ систем следует смотреть не как на антитезу суждений, а как на рамки, которые позволяют использовать суждения экспертов по многочисленным разделам области, чтобы получить результаты, которые выходят за пределы любого отдельного суждения. В этом цель анализа систем и его возможности.

3. ВЫБОР И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТРАТЕГИЧЕСКИХ АВИАЦИОННЫХ БАЗ

Пример из истории

Э. Квейд

3.1. Введение

Цель и методы анализа систем можно пояснить на примере из истории. Для этого мы выбрали весьма показательный пример проведенного в действительности анализа, который оказал значительное влияние на политическую стратегию США.

Эта работа по анализу систем была начата весной 1951 г. в рамках проекта РЭНД, называвшегося «Выбор и использование стратегических авиационных баз». Работа по существу была закончена через два года и краткий отчет сообщен стратегическому авиационному командованию и штабу военно-воздушных сил США в середине 1953 г. Руководителем проекта был А. Дж. Вольштеттер. Полный отчет опубликован в апреле 1954 г. Этот отчет, первоначально совершенно секретный, в настоящее время уже рассекречен военно-воздушными силами.

Как сообщал журнал «Лайф», ВВС подсчитали, что этот анализ помог сэкономить США приблизительно миллиард долларов. Такое сообщение нуждается в двух замечаниях. Мы, научные работники, по своему характеру осторожнее журналистов в отношении вопросов причинности, особенно в такой сложной организации, какой являются военно-воздушные силы. Истинные причины явлений выявить очень трудно. Но ясно, что вскоре после того, как первые предварительные итоги работы были сообщены ВВС США, в практической деятельности ВВС наметились изменения, которые походили на внедрение рекомендаций, выработанных в результате проведенного исследования. Однако если причина здесь указана правильно, то сумма сэкономленных денег слишком скромная, так как в ней учтена только экономия от затрат на сооружение заокеанских баз и не учтена экономия, связанная с затратами на сооружение гораздо более крупных

систем. Но важнее экономии денег было то, что эти изменения привели к еще большему усилению стратегических возможностей США. В данной главе приводятся иллюстрации и выдержки из текста этого отчета.

Изложение материала дается не в том плане, как это было сделано в отчете, представленном ВВС США в то время, и не так, как в письменном варианте этого доклада. Те отчеты были подготовлены для подкрепления выводов, а здесь мы хотим показать методы работы. Вместо того чтобы попытаться дать резюме полного отчета, мы намерены рассмотреть это исследование более пространной указать на некоторые его характерные черты, а также дать примеры используемой в нем аргументации. Цель материала данной главы следующая:

- - показать, как была сформулирована проблема и как развертывались работы по анализу;
- - указать элементы анализа (альтернативы, цели, издержки, критерии, модель) и показать их взаимосвязь, чтобы читатель мог познакомиться с языком и структурой анализа систем;
- - пояснить некоторые примеры компромисса с действительностью в серьезных вопросах, который необходим при построении модели сложного вида деятельности;
- - показать, как путем анализа случайности и чувствительности к изменениям удалось преодолеть неопределенность.

Другими словами, в этом материале даются конкретные примеры абстрактных идей, с которыми вас познакомили в предыдущей главе и которые будут рассмотрены в последующих главах.

Между прочим, на этом примере можно увидеть также, на что именно уходят многие часы, которые обычно должны тратиться на исследование системы. Судя по нашему подчеркиванию в лекциях понятий и идей, можно вынести ложное впечатление о том, что если в начале работ должным образом оценить и принять во внимание некоторые основные принципы, то остальное в исследовании придет само собой. Однако на практике все это много сложнее и требует тонкого подхода. Прежде чем продвинуться в самом анализе, необходимо затратить немало труда на поиски фактов, характеризующих данную ситуацию. Так как в большинстве случаев анализ систем есть нечто большее, чем руководство к ясному мышлению, то необходимо добиться реалистического определения количественной стороны вопроса. Объем вычислений зависит от характера проблемы, но в большинстве случаев усилия, которые необходимо затратить на этот аспект анализа, и трудности, встречаемые при установлении фактов, требуют огромного количества человеко-часов. О том, какая работа необходима для проведения крупного сложного исследования, говорят 426 страниц полного отчета о работе плюс многочисленные ссылки на работы, подкрепляющие выводы отчета.

Когда начиналось исследование, не прошло еще и пяти лет с момента организации стратегического авиационного командования США, и оно переживало трудности переходного периода и роста. Стратегическая бомбардировочная авиация состояла из самолетов B-29, B-36 и B-50. Хотя прототип самолета B-47 тогда проходил летные испытания, бомбардировщики этого типа не могли поступить на вооружение до 1953 г., а самолет B-52 все еще был в стадии проектирования.

3.2. Постановка задачи

Работа по анализу была начата по просьбе ВВС США о том, чтобы РЭНД провела исследование проблемы выбора авиационных баз на других континентах. На сооружение авиационных баз конгресс США разрешил израсходовать в 1952 бюджетном году примерно 3,5 млрд. долл., около по-

ловины которых планировалось истратить на сооружение баз за океаном.

Однако в скором времени предварительное исследование этого вопроса показало, что основная проблема заключалась не в том, как приобрести, построить и эксплуатировать авиационные базы на территории других стран, а в том, *где и каким образом базировать стратегические военно-воздушные силы и как действовать этими силами во взаимодействии с избранной системой баз.* Стало ясно, что вопрос выбора баз может решающим образом повлиять на состав и ударную мощь стратегической авиации, а также на общую сумму затрат на нее. Таким образом, было неблагоразумно рассматривать вопрос о базах только в зависимости от экономии на их стоимости. Необходимо было учитывать, как сказывается решение о базах на общей стоимости всей стратегической авиации, как, например, оно скажется на затратах в связи с увеличением дальности действия бомбардировщиков, которые не могут достигать цели без дозаправки топливом, или на маршрутах, по которым должны летать самолеты над территорией противника, на потерях, которые они могут иметь от огня ПВО противника во время полета по этим маршрутам, а также на трудностях, которые могут возникнуть при восстановлении баз после нападения на них противника.

На выбор баз оказывали также влияние типы и количество самолетов, состоящих на вооружении стратегической авиации. Казалось невозможным, чтобы какое-либо исследование могло серьезно повлиять на структуру стратегической авиации, ибо она определяется в основном уровнем научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области вооружения, международной обстановкой и позицией конгресса — т.е. величинами, обладающими большой неопределенностью. Поэтому более полезной казалась субоптимизация проблемы, т.е. отработка рекомендаций по базированию авиационных частей, на создание которых можно было надеяться, а не отработка идеальной системы базирования для некой теоретически оптимальной авиации, на приобретение самолетов для которой было мало шансов. Поэтому для ограничения проблемы было решено исходить из структуры военно-воздушных сил, планируемой на период с 1956 по 1961 г,

3.3. Исходные положения

Цель работ заключалась в том, чтобы найти решение, по возможности близкое к оптимальному, но если бы это оказалось слишком трудным, то показать, как можно добиться значительных усовершенствований в планируемой тогда системе. Одно из рабочих правил анализа систем состоит в том, что улучшение существующей системы всегда возможно. Предварительное рассмотрение показало, что и данный случай не представляет исключения.

Было очевидно, что при данном сочетании типов баз и вооружения величина стоимости уничтожения определенного количества целей или при данном уровне затрат абсолютное количество целей, которые можно будет уничтожить, будут существенно зависеть от выявления конкретных целей и их живучести.

Следовательно,

1. 1) на протяжении всего исследования преследовалась цель установить *явные различия* в относительной стоимости и эффективности альтернативных систем баз, и особенно такие различия, которые имеют шансы сохраняться, *несмотря на любое* вероятное разрешение этих неопределенностей;
2. 2) при анализе относительных различий было решено искать, скорее, ответ не на вопрос, *насколько* одна система лучше другой, а на вопрос, какие системы имеют явное преимущество;
3. 3) сравнения должны были делаться с учетом некоторых явных неопределенностей.

Например, решено было:
а) испытывать системы для широкого интервала оборонительных и наступательных возможностей противника;

б) рассматривать как одно исследование определение того, какие системы меньше всего зависят от некоторого знания уровня возможностей противника

в) проверять системы по критериям, отличным от тех, которые используются при оценке систем;

г) проверять характеристики систем в разнообразных условиях, в том числе при потере баз по политическим причинам.

3.4. Альтернативы

Исходной точкой для анализа была система баз, предусматриваемая тогда для использования в 1956 г. В этой системе все средние бомбардировщики, составлявшие большую часть ВВС США, и некоторые тяжелые бомбардировщики базировались в Соединенных Штатах в мирное время, но перебрасывались за океан и действовали оттуда во время войны. Другие тяжелые бомбардировщики оставались на базах в Соединенных Штатах после начала войны и использовали базы за океаном только для сосредоточения.

Другие сравниваемые системы делились на четыре большие группы (рис. 3.1):

1. 1) бомбардировщики, базируемые на передовых заокеанских действующих авиабазах в военное время;
2. 2) бомбардировщики, базируемые на промежуточных заокеанских действующих авиабазах в военное время;
3. 3) базируемые в Соединенных Штатах межконтинентальные бомбардировщики, дозаправляемые топливом в воздухе;
4. 4) базируемые в Соединенных Штатах межконтинентальные бомбардировщики, заправляемые на земле в районах сосредоточения вне континентальной части США.

Следует отметить некоторые особенности. Во-первых, все анализируемые системы, планируемые для использования в период 1956–1961 гг. (не только системы по использованию межконтинентальных бомбардировщиков с дозаправкой топливом в воздухе), предусматривали использование самолетов-заправщиков, как в обычных условиях проведения операций, так и в непредвиденных обстоятельствах. (В большинстве случаев самолеты-заправщики базировались в одном районе с бомбардировщиками, но изучались и другие варианты.) Во-вторых, все системы, а не только системы использования межконтинентальных бомбардировщиков, предусматривали использование баз в континентальной части США в мирное время. В-третьих, все эти системы были смешанного типа, с использованием многих элементов.

Система с вынесенными за океан базами напоминала систему, принятую ранее для стратегических ВВС и включавшую в себя: самолеты-заправщики, районы сосредоточения и авиабазы, как на территории США, так и за океаном.

3.5. Решающие факторы

Приближенный анализ показал, что решение задачи размещения баз определялось: стоимостью увеличения радиуса действия бомбардировщика; схемой ПВО противника; боевыми потерями бомбардировщиков; стоимостью тылового обеспечения, уязвимостью баз и вероятными потерями

бомбардировщиков на земле. Стоимость системы, являющаяся функцией этих факторов, была названа стоимостью места *размещения,* в отличие от стоимости *сооружения,* зависящей от местных условий, например климатических. Под этим последним термином можно рассматривать изменения в издержках: 1) па проведение операций, обусловленных погодой; 2) на строительство, зависящее от климатических условий, характера местности, наличия местной строительной промышленности и местных строительных материалов, а также наличия сооружений и оборудования базы; 3) на подвоз материальных средств в зависимости от наличия местных конечно-разгрузочных пунктов, а также в зависимости от заготовки предметов снабжения из местных источников; 4) на оборону баз в зависимости от характера местности и от существования средств обороны, таких, как английские и американские системы ПВО.

3.6. План проведения анализа

Хотя *разница в затратах из-за влияния местных условий* могла быть существенной (при проведении данного исследования были тщательно изучены дополнительные издержки при базировании авиации в Арктике), она не поддавалась представлению в функциональной форме. Кроме того, четыре критических фактора *размещения* баз представляли дилемму. Соображения политики (как внутренней, так и международной), службы тыла, а также уязвимости баз требовали удаления наших баз от противника на предельное расстояние. Высокие издержки, связанные с увеличением дальности действия бомбардировщиков, и преимущества, которые могла дать траектория маневрирующего полета для обеспечения живучести бомбардировщика, были доводами в пользу близкого базирования авиации по отношению к ее целям. По этим причинам исследование началось с попытки количественно проанализировать, до какой степени изменения в критических расстояниях места размещения баз влияли на стоимость систем и их эффективность в каждом из четырех вариантов систем базирования. Затем результаты этого анализа были применены к конкретной геометрии целей и районов запасных баз с учетом издержек, зависящих от местных условий. Хотя и признавалось, что пригодность базы должна быть связана с типом бомбардировщика, выполняющего данную задачу, однако из-за необходимости ограничения анализа никаких исследований в отношении выбора типов бомбардировщиков не проводилось. Были приняты бомбардировщики, планируемые на 1956 г. Исследовались системы баз и стратегия применения.

Предварительное изучение показывало, что последний из приведенных ранее вариантов (действующие авиабазы на территории США для бомбардировочной авиации, увеличение дальности действия которой обеспечивается путем дозаправки на базах вне континентальной части США) окажется предпочтительным. Поэтому в анализе применялся особый подход: при проведении сравнений предпринимались усилия, не позволявшие делать допущения или оценки, которые оказали бы «поддержку» этой конкретной системе.

3.7. Расстояние от базы до цели. Издержки, связанные с увеличением радиуса полета

Расстояние от самых удаленных передовых баз вне метрополии до целей противника составляло от 550 до 2800 км. От важнейших, планируемых вне метрополии баз цели отстояли на различных расстояниях — от 1500 до 4800 км. Расстояния от баз в континентальной части США до целей, если следовать по маршрутам, вычисленным с учетом снижения наших потерь от средств обороны противника, составляли от 6000 км до значительно более 11000 *км.*

Исследование началось с изучения ряда общих вопросов, касающихся зависимости стоимости приобретения и применения бомбардировочной авиации от носителя бомбы, радиуса дей-

ствия бомбардировщика и от избранного метода увеличения радиуса действия.

Было установлено, что затраты на приобретение и применение бомбардировщиков, достаточно больших для того, чтобы достичь целей *без дозаправки горючим,* увеличивались в ускоренном темпе при увеличении расстояний от базы до цели. Точная степень возрастания издержек зависит при любом данном уровне развития авиационной техники от таких факторов, как тип двигательной установки, полезная нагрузка, крейсерская скорость и скорость полета над целью, высота полета самолета и т.д. Для турбореактивных двигателей она выше, чем для турбовинтовых, а также выше при более высоких скоростях и на крайних (малых или больших) высотах. Чтобы обеспечить межконтинентальный радиус действия у бомбардировщика типа B-47, пришлось бы сделать его огромных размеров, дорогим и уязвимым.

Затраты средств на приобретение и применение бомбардировщиков в мирное время представляют собой затраты на обеспечение боевой готовности, в которых не учитываются потери техники. Если мы примем во внимание потери бомбардировщиков от средств противовоздушной обороны отдельных объектов и районов противника, то боевой радиус действия, для которого проектировался бомбардировщик, также оказывает прямое влияние на рост затрат. При увеличении расчетного боевого радиуса действия бомбардировщика увеличивается его вес и геометрические размеры. В результате увеличиваются возможности его поражения противником Это повышение уязвимости приводит к увеличению стоимости, которая непосредственно зависит от увеличения веса самолета и радиуса его полета.

Изучение следующего поколения самолетов с химическим топливом показало, что сильное влияние боевого радиуса действия на стоимость системы не является лишь временным явлением. Может быть, для компенсации предполагаемых усовершенствований в обороне противника следует стремиться к обеспечению полета самолетов со сверхзвуковой скоростью и на малых высотах. Обычное продвижение вперед в развитии авиационной техники позволило бы улучшить характеристики самолета данного веса и стоимости; однако значение этих улучшений характеристик, в свою очередь, может быть сведено на нет увеличением требований к характеристикам самолета из-за улучшения возможностей обороны. Поэтому получающийся график зависимости затрат на самолеты от увеличения радиуса действия не показал бы никакого заметного улучшения. Иллюстрацией этого положения служит кривая для сверхзвуковых бомбардировщиков, показанная на рис. 3.2. В отличие от других факторов боевой радиус действия еще в течение некоторого времени будет, скорее, *более* критическим, чем *менее* критическим.

Изучение возможностей атомных бомбардировщиков и ракет класса «земля — земля» показало, что предполагаемое развитие этих областей техники, вероятно, не приведет к изменению положения и в следующем десятилетии[7].

В результате этого исследования был сделан вывод о том, что до 1961 г., а возможно, и после ни

[7] Это не означает, что тяжелые бомбардировщики должны обязательно иметь большие боевые потери в сравнении со средними бомбардировщиками, а лишь характеризует влияние *увеличения боевого радиуса действия* на стоимость системы и на эффективность прорыва обороны противника. В процессе исследования скорость, высота и полезная нагрузка бомбардировщиков рассматривались как постоянные величины. В полезную нагрузку включались мишени-ловушки и средства радиоразведки и радиопротиводействия. Тяжелый бомбардировщик при той же дальности полета, что и средний бомбардировщик, мог бы воспользоваться при проникновении в оборону противника различными методами: а) он мог бы нести на себе большую полезную нагрузку из средств радиопротиводействия, б) мог бы использовать дополнительный объем топлива для изменения профиля полета, например путем полета на крайне малых или крайне больших высотах, в) мог бы развить большую скорость при прорыве обороны противника или г) мог бы выбрать более удобные пункты для прорыва зоны обороны противника. И действительно, немало исследований было посвящено тому, чтобы показать выгоды, которые можно было бы приобрести таким образом. Например, исследовали профиль полета бомбардировщика B-52A при допущении, что он дозаправляется топливом в воздухе перед нанесением удара, и сравнивали его с профилем полета такого же бомбардировщика, дозаправляющегося после бомбометания на земле. Одной из поправок, намеренно вводимых в пользу заправляемых в воздухе самолетов, было противоречащее действительности допущение, что они обладают такими

один бомбардировщик не будет в состоянии действовать в полном межконтинентальном радиусе без дозаправки.

Дозаправка в воздухе позволяет обойтись без более крупных, более уязвимых и дорогостоящих бомбардировщиков. Однако влияние радиуса действия на вес системы или ее стоимость (как самолета-заправщика, так и бомбардировщика) все же очень заметно. Стоимость системы возрастает ступенчато (рис. 3.3), соответственно пунктам, где необходимы дополнительные самолеты-заправщики. При все большем увеличении боевого радиуса действия приращения, получаемые от использования дополнительных самолетов-заправщиков, становятся все меньшими, и если учитывать необходимость компенсации влияния, неопределенностей, связанных с неоднократной дозаправкой, то кривая увеличения стоимости системы для данного приращения радиуса действия становится более крутой. Для системы бомбардировщика B-47, дозаправляемого самолетом-заправщиком, в радиусе действия 6500, 7700 и 9600 *км* эта стоимость соответственно будет в три, пять и в десять раз больше стоимости при радиусе действия 3200 *км* без дозаправки[8].

Одним из методов удаления действующих авиабаз (и, следовательно, находящихся на базах бомбардировщиков — самого уязвимого и самого ценного элемента системы) от ударных сил противника является увеличение радиуса действия бомбардировщика с помощью создания системы дозаправочных баз. Увеличение радиуса действия при этом достигается с меньшими затратами, чем при использовании самолетов-заправщиков. Если не считать затрат на средства обороны базы и устранение возможных повреждений, которые ей могут быть нанесены, то создание дозаправочной базы, оборудование и обеспечение ее современными взлетно-посадочными средствами и средствами скоростной заправки только на 15% повысит стоимость закупки и использования в течение трех лет авиакрыла самолетов B-47 в Соединенных Штатах.

На рис. 3.3 показана зависимость увеличения стоимости бомбардировщика от удлинения радиуса действия с учетом затрат, необходимых для обеспечения максимального количества самолетовылетов. Когда затраты, связанные с увеличением радиуса действия, очень велики (например, в системе заправляемых в воздухе бомбардировщиков B-47, базируемых на территории США), то доля затрат на закупку и использование самолетов-заправщиков может быть сокращена путем уменьшения числа самолетов в боевой группе, хотя при этом возрастают потери самолетов от противодействия средств ПВО района в расчете на каждую уничтоженную цель. Однако если мы будем рассматривать только стоимость, то меньшее по количеству самолетов подразделение позволит сэкономить больше средств, чем было нанесено потерь, на самолетах-заправщиках в системе, которая предъявляет высокие требования к заправщикам.

Были проведены сравнительные расчеты на модели[9] систем с дозаправкой в полете и на земле. Критерием, используемым для сравнения, было минимальное приращение стоимости, необходимое для того, чтобы обеспечить заданными возможностями военно-воздушные силы и сохранить эти возможности в течение определенного периода. Возможности, период и тип кам-

же возможностями в выборе профиля полета, как и заправляемые на земле самолеты.

[8] Это утверждение оказывается несправедливым по отношению к межконтинентальным баллистическим ракетам и бомбардировщикам с атомными силовыми установками. *(Прим. ред.)*

[9] В этих конкретных цифрах не учитываются дополнительные издержки, связанные с потерями или прекращением выполнения задачи бомбардировщиком или самолетом-заправщиком, которые рассматривались в то время, когда проводилось исследование, как вероятные при решении проблем встречи самолетов во время многократных дозаправок. Если такие потери должны быть, то это подкрепляет выбор вариантов, указанных в исследовании. Фактически при рассматриваемых в исследовании многократных дозаправках система дозаправки в воздухе подвергается более суровому испытанию, чем при последующем использовании в мирное время. Например, осуществляется не просто несколько дозаправок, но и дозаправки в воздухе *после нанесения удара,* когда встреча самолетов действительно является проблемой, а также многократные дозаправки реактивных самолетов с помощью винтовых самолетов-заправщиков, имеющих вдвое меньшую скорость в боевых условиях при почти одновременном с реактивными самолетами взлете по тревоге.

пании варьировались.

Было установлено, что задача уничтожения стратегических целей противника за летнюю кампанию значительно более трудная и в несколько раз дороже в денежном выражении и в отношении потерь экипажей самолетов, чем при проведении зимней кампании. В этом случае значительная часть систем целей пригодна для действий истребителей днем. Кроме того, время начала боевых действий вполне может зависеть от решения противника, и он получит относительное преимущество, избрав для этого лето. Стратегические цели в Соединенных Штатах расположены в южных широтах, что позволяет противнику совершать нападение ночью как летом, так и зимой. Ввиду того, что решение о нанесении удара, очевидно, будет принято противником, самое неблагоприятное время года для проведения кампании, с нашей точки зрения, возможно, также окажется самым вероятным временем года. Так как военно-воздушные силы должны находиться в готовности в любое время, важным было при подсчете основных расходов исходить из самого худшего (с точки зрения противника самого лучшего) возможного случая.

Издержки, связанные с проведением летней кампании, с целью уничтожения 80% промышленного комплекса противника при использовании системы дозаправки самолетов в воздухе, оказались более чем в три pass превышающими расходы при использовании наземной системы дозаправки самолетов (рис. 3.4). При подсчете этих расходов принимались во внимание подробная география баз, легко опознаваемые точки дозаправки в воздухе, определенные районы сосредоточения, пункты вхождения в зону обороны противника и траектории полета к целям. При проведении этих вычислений предполагалось, что районы обороны противника распределяются равномерно в зоне действия сети системы наведения их истребителей-перехватчиков с земли, и траектории полета при нанесении удара относительно прямые для того, чтобы свести к минимуму количество самолетов-заправщиков, приходящихся на один бомбардировщик в составе ударных сил. (Как будет показано далее, и их оборону, и нашу наступательную тактику можно решительно усовершенствовать, если допустить, что осуществлена перестройка, соответствующая нашей системе баз.) В сравниваемых системах бомбардировщиков использовались идентичные самолеты и действующие авиабазы Соединенных Штатов, но радиус действия самолетов увеличивали в одном случае путем дозаправки в воздухе, а в другом — путем дозаправки самолетов на земле. В случае наземной системы дозаправки при нанесении каждого удара использовались все наличные бомбардировщики. В системе с дозаправкой в воздухе преследовалась задача воздерживаться от использования всех бомбардировщиков, что хотя и было менее дорогостоящим, но в то же время наносило некоторый ущерб гибкости в отношении частоты нанесения ударов и числа целей противника. Возможные потери бомбардировщиков в связи с проведением многократных дозаправок во внимание не принимались.

Вычисления показали также, что: 1) затраты на увеличение радиуса действия при системе с дозаправкой в воздухе были приблизительно в шесть раз больше, чем при системе с дозаправкой на земле; 2) ограничение затрат на увеличение радиуса действия, даже на таком высоком уровне, какой существует в системе с дозаправкой в воздухе, заставляло идти на значительную жертву в виде дополнительной потери бомбардировщиков (стоимостью в 30% стоимости бомбардировщиков, используемых в системе с дозаправкой на земле).

Такая большая разница имела место, несмотря на то, что значительная часть элементов системы бомбардировщиков (бомбардировщики избранного типа и основные базы США), используемых для сравнения, представляла собой постоянные величины.

Было запланировано десять авиационных крыльев истребителей-бомбардировщиков дальнего действия. Независимо от того, применялись ли они в качестве бомбардировщиков, истребителей

сопровождения или мишеней-ловушек, их стратегическое использование представлялось практически обоснованным только при базировании в системе передовых основных баз или же при базировании в системе более удаленных основных баз с использованием наземных средств дозаправки за пределами метрополии. Преимущества наземной дозаправки по сравнению с дозаправкой в воздухе, если учитывать эти компоненты запланированного роста авиации, значительно бы возросли.

Анализируя влияние увеличения радиуса полета до целей противника, мы установили желательность действия с баз, которые находятся как можно ближе к этим целям. Но тогда приходилось также учитывать влияние их удаленности от тыловых баз в Соединенных Штатах, а также близости к источнику ударных сил противника. Однако, хотя эти факторы диктовали проведение операций с баз на большом удалении от целей противника, анализ до сих пор предполагал, что особенно дорогостоящим делом является хранение топлива вдали от целей и транспортировка его по воздуху для подачи на бомбардировщик.

Помимо разницы в издержках на проведение кампании, рассматриваемые системы отличались в отношении потерь экипажей, требований, связанных с расщепляющимися материалами, степени уничтожения цели, количества наносимых ударов. Система с дозаправкой в воздухе характеризовалась более медленным темпом разрушения целей и необходимостью нанесения большего количества ударов. По этой причине общие потери в такой системе при полетах с возвращением на базу будут большими. И так как потери при системе с дозаправкой в воздухе превышали потери при системе с наземной дозаправкой, количество носителей бомб, как и самолетов сопровождения, сбитых во время полета к цели, будет также больше. Требования к расщепляющимся материалам в точке сбрасывания бомбы были идентичными. Поэтому для проведения кампании в целом требовалось, если учитывать расщепляющийся материал на бомбардировщиках, сбиваемых истребителями противника, больше расщепляющихся материалов в случае дозаправки бомбардировщиков в воздухе.

Предположения, лежащие в основе предшествующих расчетов по проведению кампании, были благоприятными для наземной системы дозаправки в двух отношениях:

1. 1) исключались издержки, связанные с повреждением баз и обеспечением их обороны;
2. 2) появилась возможность не учитывать издержки, связанные с уязвимостью системы баз для дозаправки.

В дальнейших анализах кампаний предпринимались все попытки устранения этих допущений, так как на той ступени исследования имелись определенные данные, подтверждающие, что системы с наземной дозаправкой лучше других систем.

Другие же допущения обеспечивали преимущество системе с дозаправкой в воздухе. Например, при вычислении затрат не учитывалось влияние следующих факторов:

1) возможные потери самолетов или прекращение их полета из-за необходимости проведения встречи самолетов в воздухе для заправки топливом;

2) отсутствие гибкости в методе нанесения одинаковых ударов системой с дозаправкой в воздухе при отклонении от средних значений потерь или в случае непредвиденно больших

различий в самих средних значениях потерь;

1) необходимость полета в боевом строю.

На этом этапе исследования был проведен ряд испытаний на чувствительность. Испытания предусматривали, например, изучение влияния: 1) проведения повторных полетов к цели; 2) высокой нормы вероятности сохранения экипажей самолетов; 3) десятикратного изменения в предполагаемых потерях самолетов; 4) изменений в соотношении потерь от средств ПВО отдельных объектов и районов обороны.

По существу анализ фактора «база — цель» показал, что расходы в связи с увеличением радиуса действия возрастали очень резко, если осуществление всех функций наземных баз отдалялось на предельные расстояния от целей; в противоположность этому они возрастали весьма умеренно, если на предельном удалении осуществлялись лишь функции, связанные только с хранением и перекачиванием топлива. Было показано также, что при умеренном боевом радиусе действия (значительно меньшем межконтинентального боевого радиуса действия) издержки, связанные с дозаправкой в воздухе, были небольшими и их рост не был слишком резким при незначительном увеличении расстояния.

Эти влияния отразились на расходах по проведению кампании. Кампании рассматривались в очень широком диапазоне изменений параметров, и эти изменения не оказывали влияния на результаты исследования. Однако до сих пор в исследовании не анализировались расходы на средства обороны, необходимые для осуществления функции дозаправки топливом за пределами метрополии. В нем не рассматривались также расходы службы тыла и требования обороны при осуществлении всех функций действующих авиабаз в передовых районах или где-нибудь в промежуточном положении за пределами метрополии. До рассмотрения всех этих вопросов изучалась связь систем баз с выбором альтернативных траекторий полета через районы, обороняемые противником.

3.8. Расстояние от базы до пунктов входа в зону обороны противника.

Стоимость преодоления обороны

Исследование было посвящено изучению влияния места расположения базы на угол входа и длительность полета в зоне ПВО противника и на длительность светлого и темного времени на траектории полета в зоне ПВО. Было показано, что соображения, обусловленные расположением баз, влияли на выбор нашего маршрута к цели и на выбор противником системы развертывания средств обороны.

Предварительное изучение показало, что расстояние, проходимое над средствами обороны противника, и, следовательно, количество бомбардировщиков, теряемых от огня истребителей противника, можно будет уменьшить, если следовать ломаным курсом полета, т.е. отклонить траекторию полета от дуги большого круга, чтобы обойти районы сосредоточения средств обороны противника.

Характерны три типа маршрутов полета в зоне ПВО противника:

1) относительно прямые маршруты с целью сведения к минимуму количества самолетов-заправщиков, необходимых для каждого бомбардировщика при нанесении удара;

2) маршруты, которые предусматривают минимальное проникновение в зону ПВО противника

и тем самым уменьшение потерь от истребителей обороны районов противника;

3) маршруты, при которых используются выгоды полета в темноте для уменьшения потерь от истребителей.

Предварительное исследование показало, что, хотя потери, наносимые истребителями, значительно сокращались при проникновении бомбардировщиков в темноте, маршруты, избираемые главным образом на основе этого критерия, не будут оптимальными.

Поэтому в исследовании сравнивались системы, использующие маршруты минимального полета через зону ПВО противника, с системами, использующими прямые траектории полета, которые позволяют свести к минимуму количество заправщиков на каждый вылет бомбардировщика. В обоих случаях предпринималось много усилий для использования маршрутов, позволяющих проводить полет в темноте. При выборе заправляемых в воздухе и базируемых в США самолетов B-47 для нанесения многократных ударов в летней кампании выявилось значительное преимущество использования маршрутов минимального проникновения. Система, использующая для полета бомбардировщиков траектории минимального проникновения, теряла меньше бомбардировщиков от огня истребителей обороны противника, тем самым, позволяя уменьшить количество самолетов до величины, необходимой для обеспечения приемлемой вероятности сохранения экипажей. Наконец, хотя в этой системе на один бомбардировщик приходилось больше заправщиков, в целом она имела меньше заправщиков и позволяла в кампании даже уменьшить издержки, связанные с увеличением радиуса действия.

После этого исследователи приступили к проведению анализа операций за противника, что является необходимым шагом в любом анализе, в котором учитываются возможные контрмеры со стороны противника.

Анализ показал, что противник в свою очередь может усовершенствовать свою оборону, приведя ее в соответствие с нашими наступательными возможностями.

Было установлено, что переориентированная таким образом оборона противника обусловит более высокие потери любых систем бомбардировщиков. Более усовершенствованная оборона, специально учитывающая возможности каждой системы нашего базирования, может добиться еще большего успеха, особенно против системы с относительно большой концентрацией самолетов на пути подхода к целям.

Было найдено, что использование оптимальных маршрутов и профилей полета требует расширения возможностей в отношении увеличения радиуса действия и обеспечивает дополнительные преимущества системам, которые могут получить эти возможности при небольших затратах. Далее, периферийные системы базирования, в отличие от односторонних систем, позволяют, по крайней мере, использовать слабые места противника, а в лучшем случае они заставляют противника рассредоточивать свои средства ПВО.

Смысл проведенного до сих пор анализа можно изложить следующим образом. Во-первых, важно было выработать цельную систему для осуществления многостороннего нападения на систему целей противника. Поступая так, мы заставили бы его распылить свои средства обороны. Это не означает, что при нанесении каждого удара нам действительно необходимо использовать множество траекторий проникновения с многих сторон. Заставив противника распылить свои средства обороны, мы могли бы сосредоточить свои усилия против какой-нибудь части системы целей на некотором небольшом количестве маршрутов проникновения, чтобы использовать

преимущества массированного нападения.

Во-вторых, более низкое преимущество системы межконтинентальных бомбардировщиков с дозаправкой только в воздухе, выявленное при изучении влияния изменения радиуса действия на издержки и эффективность нападения, было еще больше подтверждено при рассмотрении недостатка в гибкости, к которому приводит нападающего эта система.

Система с дозаправкой только в воздухе по сравнению с системой периферийных заморских баз менее свободна в своем выборе маршрутов, скорости и высоты для проникновения в пространство противника. Она позволяет провести соответствующее сосредоточение средств и сил со стороны обороняющегося. С другой стороны, исследователи, хотя и проанализировали критически большие затраты на проведение операций без системы баз за пределами метрополии, но пока еще не рассмотрели до конца затраты на проведение операций, связанные со службой тыла, при наличии системы заморских баз. И еще важнее то, что исследователи не принимали полностью во внимание издержки на оборону и предполагаемый ущерб, связанные с уязвимостью заокеанских баз.

3.9. Расстояние от базы до континентальной части США. Издержки на

проведение операций за пределами США

Подробный анализ всех относящихся к этому вопросу факторов показал, что затраты на приобретение и содержание в мирное время авиационного крыла бомбардировщиков в Соединенных Штатах должны быть увеличены более чем на 50%, чтобы покрыть затраты на проведение дополнительных операций с основных баз за пределами метрополии.. Эти затраты были связаны с созданием дополнительных баз, обеспечением театра военных действий и воздушными перевозками. Однако было найдено, что в мирное время разница между системами базирования на заокеанские базы с увеличением дальности снабжения возрастает не сильно. На издержки, связанные с перевозкой грузов и людей и пополнением запасов, увеличение расстояния оказывало лишь умеренное влияние, даже если оно увеличивалось до 16 *тыс. км.* (С другой стороны, изменения *местных условий* в отличие от изменения места расположения действительно влекли за собой значительные дополнительные издержки, например на пополнение запасов в Арктике в мирное время.) Дополнительные затраты, связанные с пополнением запасов и нанесением ущерба системе снабжения в военное время, подробно не исследовались, за исключением случая с системой, использующей дозаправочные базы. Для дозаправочной базы было показано, что заблаговременное накопление запаса топлива по умеренной цене освобождает базу от необходимости решать проблему, связанную с потерями наземного транспорта в первые месяцы войны. Для освобождения заокеанской оперативной базы от необходимости решать такие проблемы пришлось бы закупить значительное количество транспортных самолетов.

И хотя в любом случае при включении в систему бомбардировочной авиации размещаемого за океаном компонента требуются дополнительные затраты на содержание баз, воздушные перевозки, накопление запасов военных материалов и т.д., было показано, что гораздо дешевле добавлять дозаправочные базы, чем оперативные базы, даже если пренебрегать соображениями уязвимости.

Анализ показал, что в отношении оборудования, воздушных перевозок и накопления запасов система заокеанских дозаправочных баз значительно дешевле системы оперативных баз, размещаемых ‘за пределами метрополий. Дозаправочная база должна помимо заправки топливом выполнять и другие функции, например ремонт самолетов и техническое обслуживание, но цель их ограничена, она сводится только к тому, чтобы обеспечить вылет на цель возможно большего

числа самолетов, а те, которые не смогут продолжать полета, направить домой.

Было показано, что выбор между системой оперативных баз за пределами метрополии и межконтинентальной системой с дозаправкой на земле оказывает заметное влияние на выбор места для заблаговременного накопления запасов. Поэтому, как показал анализ, этот выбор необходимо сделать задолго до начала какой-либо кампании.

3.10 Влияние расстояния от базы до границы противника на издержки, связанные с уязвимостью базы

До сих пор исследователи рассматривали операции бомбардировщиков с баз в основном в связи с односторонней войной, в которой противник ограничивается оборонительными действиями. Вне ограничений, обусловленных средствами обороны, которые может использовать противник, исследователи имели право выбора комбинаций баз в зависимости главным образом от соображений аэродинамики, тылового обеспечения, а также политики. Количественной оценки затрат, связанных с наращиванием сил при угрозе нападения противника, не делалось. Этот вопрос был критическим, поскольку уничтожение наших ударных сил, понятно, имело первостепенную важность, и весьма вероятным было, что противник будет иметь возможность нанести удар первым. Ущерб, который могли понести наши силы на земле, затраты на оборону-баз и характер их обороны значительно различались в зависимости от систем баз. При некоторых средствах обороны могла сохраниться только малая часть наших бомбардировщиков, которая была бы в состоянии принять участие в ударах по противнику.

Затем исследователи рассматривали виды обороны, которые будут экономически выгодными для альтернативных систем баз и самолетов, а также в связи с ущербом, который, как можно предполагать, будет им нанесен, несмотря на эту оборону. В этом случае «показателем выживания» этих систем была стоимость систем в расчете на бомбардировщик, годный для использования после нападения противника. Основные альтернативные системы базирования рассматривались совместно с системами дозаправки за пределами метрополии, рассчитанными на исключительно малую уязвимость для нападения противника.

Было показано, что уязвимость системы стратегических баз и меры, предпринимаемые для ее защиты, можно разбить для удобства проведений анализа на следующие пять категорий, соответствующих приблизительно следующим друг за другом по времени фазам нападения:

1) количество самолетов и запасы вооружения у противника, его задачи по нанесению удара против стратегической авиации США, методы применения военно-воздушных сил, обусловленные размерами и расположением системы целей, представленных стратегической авиацией США;

2) предполагаемая живучесть нападающих бомбардировщиков до момента достижения рубежа бомбардировки;

3) ценность целей, определяемых с помощью моделей занятости баз, влияющей на выставление на открытом месте самолетов и других элементов систем во время нападения;

4) поражаемость элементов систем;

5) возможность восстановления сил после нападения и влияние ущерба на элементы систем

после выполнения стратегических задач бомбардировки.

Рассмотрение первых двух критических факторов (расстояние до цели и маршруты проникновения) показало преимущества базирования бомбардировщиков ближе к цели и ближе к удобным пунктам для проникновения в пространство, обороняемое противником. К сожалению, когда мы находимся близко от противника, очень велика не только наша мощь для нападения на противника, но также и его мощь для нападения на нас. Самым очевидным недостатком системы базирования за пределами метрополии является ее повышенная уязвимость.

Оперативные базы США. Было установлено, что самые важные и легко повреждаемые элементы стратегических сил, базируемых в континентальной части США, не очень уязвимы, *если* будет выполнен план эвакуации самолетов, личного состава и важнейших материалов стратегической авиации. *Однако большое количество американских баз находилось слишком близко к периметру нашей сети радиолокаторов, запланированной на 1956* г., *чтобы получить хотя бы близкое к надлежащему предупреждение о нападении с воздуха*

Более того, анализ показал, что в случае применения противником запускаемого с подводной лодки носителя ближнего действия с атомной бомбой, вероятно, никакое расширение сети радиолокаторов не обеспечит необходимого оповещения береговых баз. Вычисления показали, что нанесение противником одного массированного удара с больших высот по целям, в том числе по стратегической авиации, в условиях обороны 1956 г. может привести к потере от 75 до 85% средних бомбардировщиков. При надлежащем оповещении о нападении уровень потерь можно было бы уменьшить до 20% и менее. Эти данные получены, исходя из предположения, что противник выделяет 120 бомб для уничтожения стратегической авиации США. Значительно меньшее количество бомб у противника для этой цели могло бы также привести к высокому уровню поражения целей в США, если бы не было надлежащего оповещения о нападении. Помимо определения количества бомб исследователи рассматривали разные оценки количества бомбардировщиков противника, предполагаемые срывы выполнения заданий самолетами и потери, которые могут причинить американские средства обороны.

Анализ сокращения потерь американских бомбардировщиков при получении надлежащего предупреждения о нападении выявил выгоды эвакуации. Осуществление плана эвакуации стратегической авиации позволяло, кроме того, сохранить ремонтный комплект самолетных запасных частей и агрегатов, а также летно-технический состав. Операция по рассредоточению рассматривалась как альтернатива эвакуации или как дополнительная оборона. Однако как замена эвакуации она оказалась неприемлемо чувствительной к количеству бомб противника, выделяемых против стратегической авиации. Как дополнение к эвакуации операция по рассредоточению вела к большим затратам, чем удавалось сэкономить на сохранении бомбардировщиков

Представлялось, где только это было возможным, что меры (например, такие, как добавление радиолокаторов, сокращение времени, необходимого для эвакуации, перевод авиационных крыльев с периферии во внутренние районы), обеспечивающие надлежащее оповещение о нападении и облегчающие эвакуацию решающих элементов ударной силы, были более эффективными и менее дорогостоящими, чем проведение сначала операций по рассредоточению как средства защиты оперативных баз.

В частности, анализ кампании показал, что важно было улучшить план эвакуации стратегической авиации, предусмотрев:

1) ускорение принятия решения об эвакуации стратегической авиации за счет автоматизации пода-

чи команды об эвакуации после получения сигнала предупреждения о нападении, обрабатываемого в результате непрерывной статистической оценки данных о неизвестных самолетах, поступающих от сети наших радиолокаторов. (Анализ показал, что уровень угрозы для начала действий по тревоге Стратегического авиационного командования может и должен быть меньше степени, необходимой командованию ПВО США для объявления своей общей воздушной тревоги, так как это затрагивает многие стороны гражданской деятельности; этот уровень может быть таким, чтобы Стратегическое авиационное командование вводило в действие план эвакуации два-три раза в год);

2) отделение плана эвакуации от плана развертывания бомбардировщиков для нападения и предоставление большего приоритета весьма важной задаче сохранения ударных сил;

3) круглосуточное нахождение, по крайней мере временно, минимума экипажей для эвакуации поблизости от самолетов на тех базах, которые не могут получить достаточно надежного предупреждения от радиолокатора, чтобы успеть собрать экипажи;

4) создание везде, где только возможно, резервных рулежных дорожек для сруливания или отвода не могущих взлететь самолетов за пределы базы.

Помимо эвакуации рассматривались другие важнейшие меры для обороны баз в континентальной части США, характеристика которых будет дана ниже. Даже с учетом этих мероприятий вероятность эвакуации оставалась достаточно высокой и меры по обеспечению безопасности бомбардировщиков в ряде подразделений меньших, чем авиационное крыло, требовали чрезмерных затрат. Однако рассредоточение бомбардировщиков считалось столь важной задачей, что помимо рассредоточения на аэродромах предполагалось строительство резервных баз на территории США на случай чрезвычайных обстоятельств и рассредоточение самолетов в пределах аэродрома базирования.

Базы за пределами метрополии. Эвакуация не представлялась практически осуществимой для большинства баз за пределами метрополии (передовых или промежуточных) из-за очень малого времени предупреждения о нападении, а также из-за высокой способности противника к нанесению частых ударов и проведению ложных атак. (Недостаток времени на эвакуацию после предупреждения о нападении еще больше сказывался в случае угрозы удара ракетами, запускаемыми с подводных лодок.) Пять шестых проектируемых баз за пределами метрополии находилось на расстоянии не более ста миль от берега моря. Уязвимость частей и подразделений, размещенных на таких базах, была бы очень высокой.

Анализ последствий возможного удара противника атомными бомбами по всей системе основных баз при наличии проектируемых средств обороны ясно показал, что для уничтожения большинства сил, сохранившихся после нападения на Соединенные Штаты (см. рис. 3.6), необходимо всего лишь небольшое количество атомных бомб. (Хотя в качестве меры уязвимости берется предполагаемый процент уничтожения самолетов, боевая эффективность ударных сил должна быть еще ниже из-за потерь в личном составе, в запасе бомб, в оборудовании баз, в запасах топлива, материальных средств и т.д.) Огромные разрушения, предполагаемые при довольно умеренном расходе противником бомб, являлись следствием: 1) концентрации наших стратегических сил на относительно малом количестве баз (разумное распределение предполагаемых сил противника обеспечивало нападение очень крупными атакующими элементами на каждую базу), 2) недостаточного охвата радиолокационными средствами и недостаточной эффективности средств ПВО, особенно на малых высотах (носители бомб имели очень высокую вероятность достижения рубежа бомбометания) и 3) высокой физической уязвимости компонентов системы, которые мог-

ли находиться на земле на базах за пределами метрополии в момент нападения (вероятность их уничтожения в случае сброса бомб была очень высокой).

Было установлено, что после начала войны начальная уязвимость авиационных крыльев, размещенных на базах за пределами метрополии, решающим образом зависит от длительности пребывания самолетов на базах до нанесения первого удара США. Можно предпринять меры по сокращению этого времени, но даже и после нашего первого удара самолеты B-47 на базах за пределами метрополии подвергнутся неоднократным ударам самолетами противника, несущими фугасные и атомные бомбы. Анализ показал, что части и подразделения, заменяемые за пределами метрополии в момент начала боевых действий, вероятно, должны понести огромный урон сразу.

Анализ показал также, что можно уменьшить высокую уязвимость, которую имели авиабазы, расположенные за пределами метрополии, даже при очень небольшом количестве средств нападения противника. Выделяя за счет сокращения ассигнований на приобретение бомбардировщиков больше средств для системы активной и пассивной обороны, мы могли бы увеличить общее число бомбардировщиков, сохраняемых в любых условиях, за исключением условий, характеризуемых весьма высокой интенсивностью бомбовых ударов.

При проведении последнего сравнения рассматривалась усовершенствованная система оперативных баз за пределами метрополии. Были рассмотрены три класса мер пассивной обороны, описанных ниже. К этим мерам относились увеличение количества баз, передислокация баз и изменения внутри баз (рассредоточение обеспечивающих средств, увеличение их защищенности.) Первые два из этих мероприятий потребовали бы коренного изменения системы баз в целом. При этом указывалось, что одно из них, а именно передислокация баз, могло повлиять на возможности оповещения, а также на вероятные размеры нападающих сил противника. Второе повело бы к увеличению количества бомб противника, необходимых для нападения. Третье вынудило бы его изменить если не количество, то мощность бомб.

Пассивная оборона. Увеличение количества оперативных баз. Так как за пределами метрополии эвакуация обычно практически неосуществима, следовало рассмотреть возможность дробления баз. Защита бомбардировщиков таким путем потребовала бы создания многих *оперативных,* баз.. На большом участке значений возможного количества бомб противника, которые могут быть направлены против наших стратегических сил, имелся бы чистый выигрыш в количестве самолетов, сохраняющихся после боя, даже если дополнительные расходы на создание отдельных баз приведут к приобретению меньшего количества самолетов. Однако при рассмотрении этого проекта исследователи не могли иметь надежной информации о том, какими будут возможности противника в 1956 г.

Пассивная оборона. Передислокация оперативных баз. Передислокация баз отстаивалась как мера, которая может противодействовать некоторым угрозам для оперативных баз, расположенных в континентальной части США. В применении к базам за пределами метрополии эта мера привела бы к появлению системы промежуточных оперативных баз, упоминаемых ранее. Она фактически уменьшила бы количество самолетовылетов, которые противник мог бы организовать при определенных ударных силах.

Это было бы большим плюсом при нанесении удара фугасными бомбами, но мало что дало бы при атомном ударе. Для уничтожения открытых целей, таких, как бомбардировщики, захваченных врасплох на земле, нет необходимости в повторных самолетовылетах с атомным оружием. Так как системы промежуточных баз не находились в глубине зоны действия радиолокационной сети

США, подкрепленной самолетами-истребителями, эвакуация как средство обороны будет для них невозможна. Поэтому они будут не менее или немногим менее уязвимы при атомном нападении, чем системы передовых оперативных баз, расположенных за пределами метрополии.

Пассивная оборона. Изменения внутри базы. Ни одна существующая стратегическая база специально не проектировалась так, чтобы снизить ущерб в случае атомного удара. Анализ показал, что атомная бомба среднего калибра (40 *кт),* сброшенная с учетом вероятной круговой ошибки, равной 1200 *м,* приведет к разрушению и серьезному повреждению от 80 до 100% всех самолетов, сооружений, запасов, а также к аналогичным потерям среди личного состава на базах в континентальной части США и на большинстве баз за пределами метрополии. Ущерб, наносимый многим элементам баз, можно уменьшить путем местного рассредоточения и использования укрытий, предохраняющих от взрыва. Рассредоточение самолетов по периметру наших баз уменьшило бы предполагаемые потери самолетов почти в два раза в случае нанесения удара одной бомбой в 100 *кт.* Далее в анализе показывается, что некоторые из перечисленных оборонительных мер были относительно недорогими и, по крайней мере, обеспечили бы защиту в условиях использования бомб среднего калибра. Однако их эффективность зависела от ограничений в количестве используемых бомб. Исследователи нашли, что такие методы окажутся неподходящими для обеспечения защиты наших бомбардировщиков при сбрасывании бомб с атомным зарядом большой мощности при нормальной точности. С другой стороны, было показано, что они играют важную роль в защите наиболее важных объектов и оборонительного вооружения базы. *Усиление защиты важнейших сооружений и оборудования против возможного нападения с целью вывода из строя базы, как. показал анализ кампании, было бы полезным даже при наличии у противника больших запасов термоядерного оружия.*

Активная оборона. Исследования показали, что эффективность планируемых активных оборонительных действий можно несколько повысить путем расширения зоны радиолокационного наблюдения, особенно на малых высотах. Зона наблюдения над океаном была неудовлетворительной и большинство проектируемых передовых оперативных баз находилось в пределах стомильной зоны от берега моря, что делало особенно неэффективной ПВО районов. Добавление оборонительного оружия такого типа, который тогда планировался, для достижения более высокого уровня обороны стоило примерно столько, сколько нужно было затратить на защиту личного состава и сооружений на земле.

Потери на земле можно было бы значительно сократить, используя более совершенные средства ПВО. Однако анализ показал, что во всех случаях эффективность активной обороны заокеанских баз решающим образом зависела от характеристик и количества носителей, тактики и мер противодействия, применяемых противником. Ввиду неопределенностей в отношении эффективности различных мер активной обороны представлялось очень рискованным защищать базы в основном активными средствами.

Планы восстановления объектов, подвергшихся нападению. Еще один раздел исследования был посвящен проблеме восстановления объектов, подвергшихся нападению. Было показано, что выполнение планов мероприятий по восстановлению объектов, подвергшихся нападению, позволяет в значительной степени уменьшить влияние нанесенного физического ущерба базе на ее эффективность. В случае нанесения удара атомной бомбой по базе, возможно, придется у большого количества самолетов заменить те детали и части, которые, вероятно, будут повреждены взрывной волной (плоскости управления, люки бомбовых отсеков, наружные пластмассовые покрытия). Так как обычно эти части не заменялись в большом количестве, больших их запасов на базах не создавалось. Однако создание таких запасов не потребовало бы больших затрат,

а отсутствие их могло бы на недели и, может быть, на месяцы обречь самолеты на бездействие.

Помимо мер по дезактивации важными мерами, необходимыми для решения проблемы, связанной с выпадением на аэродромах базирования радиоактивных осадков, как показало исследование, являются: 1) эвакуация на запасные базы и перерыв в эксплуатации пораженных баз (вследствие быстрого радиоактивного распада такой перерыв может быть невелик при условии кратковременного воздействия радиоактивных материалов) и 2) сокращение времени пребывания людей и техники в зараженной зоне за счет перебазирования на запасные площадки и использования основного аэродрома только при крайней необходимости. Были рассмотрены и найдены полезными другие меры, в том числе дублирование важного оборудования и сооружений баз, подготовка и обучение бригад для ремонта повреждений и создание условий для неотложного строительства с целью замены разрушенных объектов.

Было установлено, что сочетание мер активной и пассивной обороны лучше любой одной оборонительной меры для обороны системы оперативных баз за пределами метрополии. Факторами, ограничивающими выбор имеющихся возможностей, являлись обслуживание баз и приобретение участков земли под базы. Сравнение ранее запланированной системы с системой заокеанских оперативных баз, модифицированной для уменьшения уязвимости, показало, что количество бомбардировщиков, могущих быть использованными для ведения боя, возрастает при выделении добавочных средств (при постоянном уровне расходов) на осуществление дополнительных мероприятий активной и пассивной обороны, включая местное рассредоточение и защиту от ударной волны, усиление средств перехвата и непосредственной ПВО отдельных районов и расширение зоны действия наземных и бортовых радиолокационных средств дальнего обнаружения (рис. 3.9). Хотя было установлено, что затраты на каждый приобретаемый бомбардировщик увеличиваются на 30%, издержки на каждый бомбардировщик, *сохраняемый для ведения боевых действий* (вместе со средствами обеспечения), уменьшались на 35%. Это сочетание оборонительных мер не рассматривалось как оптимальное, так как имелось огромное разнообразие более выгодных мер для различных районов базирования за пределами метрополии.

Предпочтительные оборонительные меры. Первоначально казалось, что уязвимость соединений Стратегического авиационного командования США, размещенных на базах в пределах метрополии, до переброски их на базы за пределами метрополии будет невелика, ибо они могут быть заблаговременно предупреждены о нападении противника. Хотя для многих частей такое предупреждение не планировалось, его можно было легко обеспечить с помощью предложенных мер. Затраты на их осуществление были бы невелики по сравнению с предотвращенным ущербом.

Анализ кампаний показал, что уязвимость заокеанских оперативных баз, вероятно, будет весьма высокой. Можно было понизить эту уязвимость, применяя меры, описанные выше, однако успех таких оборонительных мер решающим образом зависел от возможностей противника. Можно было также понизить уязвимость, применяя отличную коренным образом систему стратегических баз, в которой используются оперативные базы в США совместно с дозаправочными базами, расположенными за пределами метрополии. Как и меры по эвакуации в Соединенных Штатах, эта система наземной дозаправки за пределами США сделала бы невероятным захват врасплох наших бомбардировщиков на земле. Было установлено, что на вероятность успеха в случае применения мер, которые уменьшали бы возможности нашего нахождения на базах в момент, когда бомбардировщики противника достигли бы рубежа сбрасывания бомб, сравнительно мало влиял широкий диапазон изменения возможностей противника.

Оборона дозаправочных баз, расположенных за пределами метрополии. Затем была изучена стратегическая система, в которой единственным элементом, расположенным за пределами

метрополии, являлись дозаправочные базы. Предполагалось, что система дозаправочных баз охватывает все базы, планируемые в то время для использования в качестве дозаправочпых и оперативных баз.

Подробное рассмотрение заокеанских дозаправочных баз показало, что экономически выгодно оборону осуществлять, если: 1) иметь гораздо больше баз, чем это требовалось для обеспечения полетов; 2) уменьшить период пребывания самолетов на базах (до 2–3 часов для баз, находящихся поблизости от территории противника, для более удаленных баз периоды безопасного пребывания были более продолжительными); 3) снизить физическую уязвимость путем рассредоточения, дублирования и обеспечения защиты от воздействия ударной волны минимума необходимых сооружений и оборудования; 4) обеспечить активную оборону, даже если базы не заняты (10 крыльев перехватчиков и 35 дивизионов зенитных ракет), а когда некоторые базы заняты самолетами, сосредоточить истребители (и дополнительно 10 крыльев истребителей сопровождения) в месте нахождения самолетов; 5) создать службу ремонта и восстановления поврежденных объектов. Большое количество таких баз, хорошая защищенность немногих стационарных сооружений и сила активной обороны сделали бы эти базы невыгодными целями (даже если предположить наличие у противника большого запаса атомных бомб и многих дальних бомбардировщиков), когда на них нет бомбардировщиков.. Даже если нападение совпадет с моментом максимального сосредоточения, риску уничтожения подвергнется только совсем небольшой процент наших самолетов; при некоторых вариантах нападения этот процент будет сопоставим с процентом неэвакуируемых самолетов на наших внутренних базах США, получивших надлежащее предупреждение о нападении. Более того, даже допустив возможность получения противником обширной разведывательной информации, мы могли бы путем обманных операций, случайной стратегии и других подобных действий значительно снизить вероятность нападений в период максимального сосредоточения самолетов. Ложные действия, дополненные установкой таких устройств, как макеты самолетов B-47, на базах дозаправки и при наличии активной обороны могли бы привести к большому расходу противником бомб и бомбардировщиков.

Базируемая на территории США бомбардировочная авиация, действующая при поддержке системы дозаправочных баз за пределами метрополии, обороняемой таким образом, понесла бы чрезвычайно малые потери на земле по сравнению с авиацией, базируемой за пределами метрополии. Намечаемая система оперативных и дозаправочных баз потребовала бы только небольшого расширения и модификации для приспособления ее к такой роли. Как в тактическом, так и в политическом отношении создание системы хорошо защищенных дозаправочных баз за пределами метрополии осуществимо. Более того, дозаправочные базы (как и оперативные базы на территории США, но не оперативные базы, расположенные за пределами метрополии) не привели бы к резкому увеличению уязвимости даже при очень большом увеличении количества бомб и носителей, предназначаемых противником для нападения на стратегическую авиацию США.

Выводы по разделу обороны баз и предполагаемому ущербу. В исследовании были сделаны следующие выводы:

1. Неизмененная система оперативных баз, расположенных за пределами метрополии, стала бы чрезвычайно уязвимой в расчетный период.

2. Хотя стратегическую авиацию США нельзя было бы сделать неуязвимой, ее уязвимость можно было бы понизить путем применения разнообразных мер, затраты на которые были бы меньшими по сравнению с приносимыми ими выгодами. Для обороны стратегической авиации

одной меры недостаточно, для этого необходимо их сочетание.

3. Лучшие из сочетаний таких мер должны были бы включать в качестве основного условия отсутствие важнейших уязвимых элементов в момент сбрасывания бомб над базой. Это означает применение мер, обеспечивающих эвакуацию с баз, расположенных в США, и мер по сокращению времени пребывания на базах, расположенных за пределами метрополии, и соблюдению нерегулярности такого пребывания.

4. При проведении таких мер можно было бы обезопасить большинство наших стратегических бомбардировщиков от нападения бомбардировщиков противника, даже допуская наличие очень больших наступательных возможностей противника и выделение им огромных средств для уничтожения стратегической авиации США.

5. Успех стратегии обороны, предполагающей пребывание бомбардировщиков на базах во время нападения противника, зависит от возможности ограничения действий противника. В этом суть усиленной обороны, рассмотренной для случая с основными базами, расположенными за пределами метрополии. Увеличение количества оперативных баз может быть компенсировано пропорциональным увеличением противником запаса бомб. Рассредоточение внутри базы может быть парировано увеличением мощности бомб противника, а активная оборона — мерами противодействия противника и увеличением численности атакующих самолетов.

При сравнении разрушительной мощи самолетов B-47 в зависимости от четырех основных вариантов, систем их базирования важно было учесть издержки, связанные с проведением соответствующих мер по обороне баз, а также нательной системы США. Каждая система сопоставлялась с обороной и наступлением противника и развертывалась так, чтобы использовать основные его слабости. С другой стороны, сочетания бомбардировщиков с заправщиками, маршруты передислокации и прорыва и средства активной обороны выбирались таким образом, чтобы использовать преимущества каждой системы и уменьшить затраты на создание сил, обеспечивающих решение поставленных задач. Были уже рассмотрены соответствующие дополнительные меры обороны для систем заокеанских оперативных баз и баз дозаправки. Во всех системах базы США находились в районах, прикрытых сетью раннего предупреждения. Затраты на эту оборону, а также стоимость ущерба, нанесенного наземным целям, предполагаемого для каждого варианта бомбардировочной авиации и количества бомб противника, включались в общие затраты, необходимые в каждой системе для уничтожения различных групп целей противника.

Хотя бомбардировщики и место расположения оперативных баз США были одинаковыми во всех сравниваемых системах, разница в затратах на проведение кампаний была разительной. Оказалось, что система межконтинентальных бомбардировщиков с дозаправкой только в воздухе была значительно хуже системы межконтинентальных бомбардировщиков с дозаправкой на земле. Рассмотренная система с использованием передовых заокеанских оперативных баз оказалась при малом количестве сил и средств, вводимых противником в действие против стратегической авиации США, по эффективности промежуточной между обеими системами межконтинентальных бомбардировщиков. Однако затраты на нее и ее эффективность оказались очень чувствительными к количеству и калибру бомб, вводимых противником в действие. При большем количестве и калибре бомб противника затраты на систему достигали затрат на систему межконтинентальных бомбардировщиков, дозаправляемых в воздухе. Система промежуточных заокеанских оперативных баз, сочетавшая высокие издержки при увеличении радиуса действия бомбардировщиков, которые отличали систему межконтинентальных бомбардировщиков, дозаправляемых в воздухе, и уязвимость системы передовых заморских оперативных баз, выглядела хуже всех других систем. Она

была дорогостоящей при низком уровне сил и средств, вводимых в действие противником.

Эти выводы относятся к такой кампании, в которой при системе заокеанских оперативных баз и в системе с дозаправкой самолетов в воздухе бомбардировщики задерживаются на базах для сокращения издержек на их обеспечение, а также для уменьшения затрат, связанных с потерями на земле и т.д. Если бы, в соответствии с концепциями военно-воздушных сил в то время, были использованы почти все готовые к бою бомбардировщики, то низкое качество обеих систем стало бы еще заметнее.

3,12 Неопределенность в оценке возможностей противника

Так как во всех системах использовались однотипные бомбардировщики, на результатах анализа не сказывалось влияние больших изменений в суммарных возможностях обороны противника, но на них в какой-то степени влияло распределение средств обороны противника между ПВО района и непосредственной ПВО отдельных объектов. Считалось, что предполагаемая непосредственная ПВО отдельных объектов относительно лучше предполагаемой ПВО районов, но поправка в сторону снижения еще больше ухудшила бы относительное положение системы, предусматривающей заправку в воздухе, и потому не изменила бы полученных результатов. Уже было показано, что эффективность системы заокеанских оперативных баз, вероятно, будет заметно изменяться в зависимости от наступательных возможностей противника (например, в зависимости от количества атомных бомб, предназначаемых для нанесения удара по нашим базам), в то время как на эффективность системы, предусматривающей заправку на земле, это изменение относительно не повлияло бы.

При изучении кампаний, проводимых при наличии резервов для компенсации потерь в воздухе и на земле, считалось, что потери, наносимые противником, были такими, какими они предполагались на основе нашей оценки его возможностей. Даже в итогах приводимого ранее анализа, где рассматривался круг возможностей противника и соответствующие наши потери, в каждом случае предполагалась правильной оценка наших потерь. Поправка на реальные неопределенности, связанные с подготовкой к кампании против противника, в отношении которого у пас имеются неполные разведывательные данные, еще больше ухудшила бы качество всех систем, где наблюдалась большая разница между затратами на технику, состоящую на вооружении и в резерве, так как уже нельзя было больше исходить из того, что будут точно накоплены необходимые резервы. Подчеркивалось, что это будет, скорее, поправкой на недостаточность наших разведывательных данных о будущих потерях, чем на разницу в самих потерях. Рис. 3.12 показывает соотношение целей, уничтоженных при использовании каждой рассматриваемой системы, если все они подготовлены для ведения боевых действий в условиях определенных наступательных возможностей противника (тех же, что предполагаются на диаграмме в правой части рис. 3.12), но фактически оказалось, что возможности противника отличаются от тех, которые мы предполагали.

Было показано, что предпочтительная система, т.е. система, предусматривающая дозаправку на земле, более осуществима по сравнению с системой, предусматривающей дозаправку в воздухе. Последней для уничтожения одной и той же системы целей требовалось больше бомбардировщиков, гораздо больше заправщиков (до 1700 самолетов типа КВ-36), больше баз на территории США и больше денег на строительство, чем планировалось. Предпочтительной системе требовалось примерно планируемое количество бомбардировщиков и несколько меньше заправщиков. Для предполагаемых заокеанских дозаправочных баз использовались намеченные участки и их легче было бы заполучить и использовать исключительно для целей дозаправки, а не боевого применения. Усовершенствованной системе заокеанских оперативных баз требовались оперативные базы во многих районах, не планируемых для этой цели. С ней было также связано использование гораздо

большего количества бомбардировщиков, чем в системе, предусматривающей дозаправку на земле.

3.14. Кампании при постоянной величине расходов

До сих пор сравнения проводились на основании относительных затрат на альтернативные системы, которые должны были выполнять одну и ту же определенную задачу по уничтожению целей. Исследователи использовали и обратный критерий — они сравнивали системы с расходом одинаковых средств по относительному количеству целей, которые эти системы могли бы уничтожить. В этом случае наблюдаемая разница резко возрастала, что было следствием превышения уровня возможностей противника: системы, которые позволили бы выделить значительную часть предоставляемых для них средств на приобретение бомбардировщиков сверх минимума, необходимого для «насыщения» ПВО, достигли бы большего, чем пропорциональное увеличение количества уничтоженных целей. В системе межконтинентальных бомбардировщиков, дозаправляемых в воздухе, приходится большую часть ее бюджета потратить на приобретение небоевых элементов, а именно заправщиков. В системе заокеанских оперативных баз приходится расходовать много средств на материально-техническое обеспечение, средства активной и пассивной обороны и на приобретение бомбардировщиков, которые подвергнутся уничтожению на земле. В системе промежуточных баз деньги тратятся равномерно па все упомянутые элементы.

Характерное различие в распределении средств на закупку между боевыми и небоевыми элементами являлось причиной весьма разительной разницы во времени проведения кампаний.

3.15. Гибкость системы и время кампании

Было показано, что бомбардировщики, действующие на межконтинентальных дальностях, имели меньше самолетовылетов по сравнению с самолетами, действующими с передовых баз. В случае использования системы, предусматривающей проведение дозаправки на земле, это не приводило к увеличению продолжительности кампании по сравнению со случаем использования системы заморских баз. И в системе заокеанских оперативных баз и в системе, предусматривающей дозаправку в воздухе, количество боевых самолетовылетов при использовании тактики выдерживания бомбардировщиков в резерве ограничивалось возможностями обеспечения вылетов (в одном случае наличием заправщиков, в другом — наличием заокеанских оперативных баз, службы материально-технического обеспечения и средств активной обороны). Усиливать службу обеспечения до такой степени, когда все имеющиеся бомбардировщики можно поднять в воздух для нанесения одного удара,— чрезвычайно дорогостоящее мероприятие. Для системы, предусматривающей дозаправку на земле, было вычислено, что дополнительные затраты на обеспечение одновременного вылета всех самолетов являются умеренными. Не требующие больших затрат дополнительные средства обеспечения позволили бы увеличить потенциальное количество боевых самолетовылетов в системе, предусматривающей дозаправку на земле, а также закончить кампанию не только при меньших затратах, но и за такой же срок, что и при любой другой системе. Короче говоря, система, предусматривающая дозаправку на земле, имела бы заметное преимущество по гибкости в отношении масштабов наносимого удара, по темпам нанесения ударов и количеству атакуемых целей. (Эта система имела также большую гибкость в выборе маршрута полета и в выборе профиля полета.)

Системы заокеанских оперативных баз имели преимущество в том, что обеспечивали выполнение полета до цели за более короткий период времени, что, казалось, позволяло производить каждому бомбардировщику больше вылетов. Однако в исследовании было указано несколько моментов, которые следовало бы отметить.

Во-первых, значение большого количества самолетовылетов для проведения атомной кампании

в третьей мировой войне при нанесении удара по промышленным объектам было бы гораздо меньшим по сравнению с кампаниями второй мировой войны, в которых применялись фугасные бомбы. В кампаниях второй мировой войны ущерб наращивался постепенно, каждый раз понемногу, и восстановление поврежденных объектов было относительно недолгим делом. (Уменьшение значения большого количества самолетовылетов видно было в желании военно-воздушных сил обеспечить возможность нанесения межконтинентальных ударов.)

Во-вторых, пропорциональное увеличение самолетовылетов при уменьшении дальности полета до цели ограничивалось рядом трудностей, самой важной из которых было влияние атак противника на наши средства обеспечения вылета самолетов. Это фактически могло бы даже обратить преимущество в недостаток. Однако, даже если мы предположим, что количество самолетовылетов отдельных бомбардировщиков, действующих с заокеанских оперативных баз, в два раза превышает количество самолетовылетов таких бомбардировщиков, базируемых в континентальной части США, анализ кампаний показал, что при использовании системы базирования в континентальной части США с дозаправкой на земле можно достичь более высокой степени уничтожения целей при постоянной величине расходов. Основная причина этого уже указывалась. Система заокеанских оперативных баз не позволяла тратить достаточное количество средств из ее бюджета на приобретение бомбардировщиков, характеризуемых гипотетически большим количеством самолетовылетов. При этой системе приходится распределять ее бюджетные средства на материально-техническое обеспечение, оборону и приобретение бомбардировщиков, многие из которых, вероятно, будут уничтожены на земле, прежде чем смогут вообще подняться в воздух.

3.16. Операции с заокеанских баз после проведения кампании против авиации противника

Анализ ясно показал, что рост возможностей противника по нанесению атомного удара делает действия стратегической авиации с заокеанских баз неприемлемо рискованными. А как в отношении возможностей проведения стратегических операций после уничтожения военно-воздушных сил противника? Возможные затруднения в проведении успешной кампании против авиации противника выявились при рассмотрении осуществимости успешной обороны нашей собственной стратегической авиации. Бомбардировщики противника могут базироваться в глубине своей территории в зоне действия сети своих радиолокаторов и получить вполне достаточное предупреждение о нападении, которое позволит осуществить их эвакуацию. Северные периферийные базы могут использоваться только для сосредоточения, а важнейшие сооружения и объекты могут быть укреплены так, что сделают затруднительной кампанию по подавлению баз. При крайней необходимости противник мог бы использовать большое количество запасных баз. Далее, кампания, при которой требуется сделать безопасным постоянное пребывание самолетов на заокеанских базах, была бы более широкой, чем та, которая тогда обычно понималась под названием контрудара по ВВС (для ослабления удара противника по континентальной части США.) Так как значительная доля этих баз может находиться в радиусе действия бомбардировщика противника и даже в пределах дальности его истребителей, необходимо было только полное уничтожение всей авиации противника. Наконец, у нас был недостаток по сравнению с противником в том, что мы имели относительно неполную информацию о местоположении и функционировании его авиационных баз. По этим причинам к тому времени, когда операция по уничтожению средств доставки атомных бомб противника была бы осуществлена в какой-либо значительной степени, основные промышленные объекты, которые имеют гораздо меньшую защиту, были бы уничтожены. (На это указывают итоги рассмотрения нескольких комплексных кампаний по уничтожению стратегической авиации и промышленности противника.)

Можно предполагать, что часть нашей стратегической авиации, оставшаяся после понесенных потерь, в это время будет значительно меньше всей имевшейся стратегической авиации, и очень

важно отметить, что так как к этому времени наша основная стратегическая задача по нанесению атомного удара будет осуществлена, то будет безопасным перебазировать авиацию для ведения дальнейших боевых действий на заокеанские базы.

3.17. Ограничения эффективности систем и их гибкость

Выводы, представляемые здесь, получены при сравнении кампаний, в которых многие элементы были изменяемыми, а некоторые постоянными. В плане проведения кампании в анализе рассматривались только планировавшиеся бомбардировщики. В большинстве проводимых анализов кампаний использовалась только одна система целей противника, а именно его промышленный комплекс. Естественно спросить, будет ли подтверждено продемонстрированное превосходство системы базирования в метрополии, предусматривающей дозаправку па земле, дополнительными анализами, в которых эти другие постоянные элементы будут также изменяться реалистично. Состав нашей потенциальной бомбардировочной авиации рассматривался как все более изменяемый при анализе позднейших периодов времени. И хотя промышленность была бы самой обычной целью, она не была бы единственной: предотвращение операций дальнего действия и подавление дальней авиации противника также входило в задачи нашей стратегической авиации.

В борьбе против бомбардировщиков дальнего действия системы заокеанских оперативных баз показали свое преимущество. Они позволяют корректировать план бомбардировок в соответствии с быстро изменяющимися условиями борьбы с авиацией противника. И даже при бомбардировке промышленности, как показал анализ, были обстоятельства, в которых эти системы предстали бы в более выгодном свете. О некоторых трудностях в достижении нами целей по борьбе с авиацией противника было уже сказано. Тем не менее, если бы можно было уничтожить носители его атомных бомб (хотя кажется сомнительным, что это можно сделать до завершения важнейшей части нападения против системы промышленных объектов) или если бы их оказалось гораздо меньше, чем предполагалось, то и в этом случае, как только об этом стало бы известно достоверно, можно было бы более благоприятно рассматривать заокеанские оперативные базы для действий по промышленным объектам.

Однако одним из достоинств рекомендуемой системы была ее приспособляемость. Если бы будущие условия оправдывали затраты времени и денег, то дозаправочные базы можно было бы превратить в оперативные базы и их можно было сочетать с некоторым количеством заокеанских оперативных баз для проведения действий против целей второй очереди . Точно так же система, предусматривающая дозаправку на земле, могла бы позволить экономично использовать истребители-бомбардировщики дальнего действия. Это вряд ли было бы осуществимым в случае рассмотренной системы, предусматривающей дозаправку в воздухе. И для бомбардировщиков с высокими летно-тактическими характеристиками система, предусматривающая дозаправку на земле, обеспечила бы большую гибкость в выборе маршрутов полета, скоростей и высот проникновения в пространство противника и сделала бы возможной большую нагрузку, которая потребовалась бы в связи с поступлением на вооружение термоядерных бомб.

Анализ показал, что усиление обороны противника заставит нас отказаться от бомбардировщиков дальнего действия в пользу бомбардировщиков с высокими летно-тактическими характеристиками. В то же время растущая его ударная мощь вынудит нас держать уязвимую часть нашего стратегического комплекса на возможно большем удалении от границ противника. Система, предусматривающая базирование наших бомбардировщиков на территории США под прикрытием нашей сети радиолокаторов и увеличение расстояния до цели путем использования рассредоточенных заокеанских дозаправочных баз, представлялась имеющей важное значение для выполнения большой части нашей стратегической задачи, а также подходящей для сочетания ее с методами, по-

зволяющими выполнить остальную часть этой задачи.

Во многом сходна с моделью, приводимой в приложении Б.

3.18. Заключение

Этот анализ, первоначально задуманный как упражнение по службе тыла, в конечном итоге стал анализом американской политики устрашения . После одобрения специальной группой штаба ВВС и штабом ВВС основные рекомендации, содержащиеся в первой части этого анализа, о снижении уязвимости стратегической авиации США путем резкого сокращения функций, выполняемых на базах за пределами метрополии, и тем самым времени, в течение которого авиация находится на этих базах, стали в скором времени политикой ВВС США. Это было только началом работы, так как помимо работ по строительству укрытий и укреплению баз анализ побудил заняться исследованиями в области систем обнаружения и оповещения о взрывах атомных бомб, объявления воздушной тревоги, а также созданием самолетов с большой продолжительностью полета.

Значительным шагом в развитии подхода РЭНД к проблемам было то, что этот анализ не казался таким «аналитическим», какими были наши предыдущие анализы систем. При проведении этого анализа не применялось никаких усложненных математических моделей, характеризуемых астрономически большим количеством вычислений на машинах, и никакой современной методики исследований операций, такой, как линейное программирование. Фактически не предпринималось никаких попыток определить четкий оптимум. Целью анализа, скорее, было нахождение нечувствительности, т.е. поиски системы, которая хорошо бы работала во многих широко отличающихся друг от друга ситуациях и даже функционировала бы достаточно удовлетворительно при серьезной катастрофе. Наши попытки убедить ВВС в том, что рекомендации, полученные в результате исследования, необходимо осуществить, сделали ясным одно обстоятельство: при анализе с целью подготовки политических решений выявление подлежащих учету факторов и оценка непредвиденных обстоятельств, влияющих на проблему, важнее совершенных аналитических методов . Хорошая новая идея, техническая, оперативная или иная, имеющаяся у нас, стоит тысячи тщательно выработанных оценок.

Насколько мне известно, это было первым исследованием, в котором в качестве *важнейшей проблемы* был поднят вопрос об уязвимости стратегической авиации США, самой мощной авиации в мире, и было указано на то, что она может подвергнуться уничтожению в результате внезапного удара противника. Исследователи рассмотрели много средств и способов, которые позволили бы противостоять этой угрозе, а последующие обсуждения дали рекомендации ВВС США в отношении других мер[10]. В результате были одобрены необходимые меры для защиты стратегической авиации США от объединенной угрозы со стороны самолетов и баллистических ракет и была пересмотрена роль активных средств ПВО[11].

Сегодня критики полагают, что итоги проведенного анализа должны были быть очевидными до его проведения и что не требовалось никакого тщательного анализа. Они утверждают, что нелепо не принимать все разумные меры для защиты своих наступательных сил, особенно когда предполагается, что противник нанесет первый удар, и что также нелепо перевозить ракетное топливо по воздуху во время боевых действий, когда его при небольших затратах можно перевезти по морю в мирное время и хранить там, где оно, вероятно, понадобится. Тем не менее эти «нелепости» не были

---

10 В качестве частного вывода анализ показал, что объекты, строящиеся в настоящее время для намечавшейся тогда системы заокеанских баз, можно приспособить без дорогостоящих изменений к системе баз, предусматривающей дозаправку самолетов.

11 Это только один из немногих примеров влияния военщины на политику США. *(Прим. ред.).*

очевидными в то время и стали очевидными через ряд лет после проведения нашего анализа[12].

Часть вторая

ЭЛЕМЕНТЫ И МЕТОДЫ

Анализ систем есть способ рассмотрения проблемы. Математический аппарат и использование вычислительных машин при этом могут быть необходимыми или даже полезными, но могут такими и не быть. Иногда может быть достаточно серьезного размышления над проблемой. Но в любом анализе, связанном с подготовкой решения при наличии неопределенностей, независимо от его сложности присутствуют определенные элементы. Эти элементы — *цель* или *цели, альтернативы* или средства для достижения этих целей, *расходы* или все то, что необходимо затратить для достижения каждой из альтернатив, *модель* или описание зависимостей между альтернативами и тем, что они выполняют и стоят, и *критерии,* в соответствии с которыми выбирается предпочтительная альтернатива,— присутствуют в любом анализе, целью которого является оказать влияние на выбор образа действий. Часто эти элементы трудно выбрать или четко определить.

Темами глав 4, 5, 6 являются соответственно *модели, критерии* и *затраты. Альтернативы* и *цели* рассматриваются в гл. 7, в которой подчеркивается, что обнаружение и выбор предпочтительных альтернатив и определение целей являются существенными для решения любой проблемы выбора. Хотя эта книга написана для тех, кто использует в своей деятельности результаты анализа систем, а не для тех, кто его выполняет, первым может быть полезным произведенное в гл. 8 объяснение методов и приемов такого анализа.

Р. Д. Шпехт

4. ЗАЧЕМ И КАКИМ ОБРАЗОМ СОЗДАЕТСЯ МОДЕЛЬ

В Соединенных Штатах периодически устраиваются занятия, в которых потенциальные возможности Соединенных Штатов и его противников прогнозируются на несколько лет вперед. Во время одного из таких занятий, когда специалист по анализу операций одного из видов вооруженных сил инструктировал группу офицеров этой службы, старший офицер спросил инструктора, каким образом была произведена оценка в таком-то случае. Вопрос был разумным и существенным. Тот удовлетворил любопытство, ответив: «Сэр, у нас есть модель».

Нам предстоит найти ответ на два вопроса: что такое модель и как ее строят.

Рассмотрим такой пример. Вот образец модели, при помощи которой рассчитываются стоимости

[12] Это не означает отхода от использования математических методов в анализе стратегических проблем, это означает только, что точность и совершенство методов должны быть соизмерены с точностью исходных предпосылок. *(Прим. ред.)*

систем при сравнении различных типов ракет[13]:

$$C = C_L m + RC_N Nm + C_M (1 - R)m,$$

$$N = \begin{cases} \dfrac{aT}{Rrmpk}, & \text{если это выражение неотрицательно,} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

В данном случае модель состоит из нескольких математических уравнений, но не это самое важное в ней. Рассмотрим сначала величины, отношения между которыми выражены этими уравнениями. Они распадаются на три группы. Прежде всего мы имеем выходной параметр модели C, который представляет собой стоимость системы (стоимость в долларах стратегической системы, используемой Для уничтожения некоторой заданной части системы-цели, принадлежащей противнику). Далее мы имеем входные параметры — числа, характеризующие стратегическую систему (в данном случае состоящую из ракет и баз) и окружающие условия, в которых действует система:

R — надежность на земле, т.е. та доля готовых к бою ракет, которые запускаются в воздух;

r — надежность в воздухе, т.е. та доля запущенных ракет, которые, как предполагается, не будут уничтожены;

См, C_L — коэффициенты затрат (грубо говоря, расходы, приходящиеся на одну запущенную ракету, и расходы на поддержание в готовом к бою состоянии одной ракеты соответственно);

A — мера оборонной мощи противника и уязвимости наступательного оружия;

T — полное число целей в системе-цели[14];

a — математическое ожидание числа попаданий, приходящееся на одну цель, необходимого для обеспечения надлежащей уверенности в том, что заданная часть этих целей уничтожена[15].

В некоторых случаях за этими простыми символами скрывается целый комплекс переменных величин; например, C_L зависит также от времени, необходимого для повторения залпа, а $C_м$ — от вида и эффективности боеголовки. Кроме того, мы имеем операционные переменные, т.е. те элементы, которые представляют собой не типовые характеристики наступательной системы, а, скорее, выражающие то, каким образом система работает в данной кампании. К ним относятся:

m — число ракет, готовых к пуску при каждом залпе;

k — вероятность того, что доставленная боеголовка уничтожит цель. Сюда включаются характеристики цели, эффективность оружия и точность наведения (посредством другой модели!).

Наконец, в какой-то мере случайно, в приведенной выше модели есть две величины, которые по существу будут избыточными в том смысле, что они могут быть заменены эквивалентными выражениями, включающими входные параметры и операционные переменные. Тем не менее, удобно опре-

---

13 Было сделано 92 кратких обзора и подготовлен один специальный совершенно секретный доклад.

14 В приложении Б *T* = 100.

15 В приложении Б a = 2.

делить их в явном виде:

N — число залпов в кампании;

p — вероятность доставки ракет на цель.

В реальной жизни проблемы выбора этих переменных не возникает. Их значение определяется конкретными условиями кампании, а в данном случае стоит задача выбора типа ракет (в иных случаях — задачи разработки или закупки), а не выбор тактики их применения. Модель должна включать в себя такие операционные переменные, разные системы могут иметь различные схемы применения для достижения наилучших результатов. Поэтому сравнение различных систем между собой должно идти в условиях, когда каждая из них применяется оптимальным образом.

Будем рассматривать модель как черный ящик, в который мы вводим входные параметры (надежность, оборонную мощь и т.д.) и из которого мы получаем выходные параметры — в нашем примере стоимость системы в зависимости от выбора типа ракет. Модель является намеренно упрощенной схемой некоторой части реальной жизни, из которой мы надеемся получить рекомендации к решению реальных проблем.

В приведенном примере модель состояла из ряда уравнений. Это бывает не всегда, в других случаях модель существует в виде программ — логических или написанных на языке вычислительной машины. Существуют и другие возможности моделирования, но прежде чем изучать их, рассмотрим пункты, характеризующие процесс создания модели любого вида.

Когда мы говорим о моделировании некоторого процесса реальной жизни, то имеем в виду:

1) выявление релевантных факторов;

1) выбор тех из них, которые могут быть описаны количественно;

2) объединение факторов по общим признакам и сокращение их перечня;

3) установление количественных соотношений между элементами процесса.

По сути, такова последовательность действий любого человека в процессе решения проблем (мы всю жизнь говорим прозой, не догадываясь об этом). Тот, кто создает модель, использует количественные оценки; его предположения доступны другим людям, которые могут проверить их и высказать о них свое суждение.

Рассмотрим каждый из четырех этапов создания модели согласно нашему определению.

4.1. Выявление релевантных факторов

Для примера рассмотрим вопрос о выборе типа ракет. Видимо, мы начнем с того, что попытаемся составить список всех элементов в данной ситуации, которые могут сказываться на результатах решения нашей проблемы. Впоследствии некоторые из них мы сможем отбросить как несущественные, но вначале наш список должен быть возможно полнее.

Этот список сначала окажется хаотическим нагромождением различных факторов; сюда войдут: система наведения противоракетных снарядов противника; строительство новых баз и комплек-

тование личным составом некоторых наступательных систем; географическое распределение целей; физическая уязвимость; возможная оборонная мощь системы целей и необходимые разведывательные данные о ней и т. д. Каждый из них может, в свою очередь, включать в себя ряд элементов. В список войдут, вероятно, и несущественные факторы, влияние которых не скажется на выборе нами того или иного оружия. Мы постараемся отсеять несущественные факторы уже на данном этапе, но, к сожалению, слишком часто до конца анализа нельзя сказать, какие из факторов окажутся критическими. И действительно, одна из важнейших задач анализа состоит в том, чтобы выявить, какие факторы существенны, а какие нет.

Рассмотрим в качестве примера вопрос, часто возникающий при сравнении самолетов и ракет[16] При оценке стоимости системы, предназначенной для уничтожения некоторой части системы целей, часто предполагают, что все цели обладают одинаковой ценностью. В действительности, конечно, ценность целей не одинакова. Однако если считать ценность целей пропорциональной, например, капитальным вложениям в них, то можно показать, что для конкретной модели различие в ценности целей не сказывается существенно на абсолютной стоимости системы или на ее стоимости по сравнению с другими системами.

4.2. Выбор факторов, описываемых количественно

Многие факторы нашего списка могут быть оценены количественно, некоторые из этих оценок можно даже считать надежными. Другие не поддаются количественной оценке. Например, как в анализе политики сдерживания оценить влияние размещения наших ракетных систем в союзных странах на их внутриполитическую устойчивость? Как такие политические соображения влияют на выбор расположения ракетных баз? Какова вероятность потери некоторых или всех наших баз в случае изменения политической ситуации?

Все эти факторы можно перечислить, но оценить их количественно невозможно.

Мы начали с того, что нам следует исключить из наших соображений все несущественные факторы, т.е. всё (или почти всё), что не должно повлиять на наши решения. Теперь мы видим, что должны также исключить из модели некоторые элементы, которые могут иметь отношение, и даже самое непосредственное, к нашей проблеме. Эти факторы отбрасываются по одной из двух причин:

1) по самой своей природе они не могут быть выражены количественно;

2) знания и умение специалиста по анализу систем ограничены — в конце концов, он не так всемогущ, как это могло бы показаться из его окончательного исследования.

Мы упомянули, что трудно выразить количественно политику размещения баз. Реакция противника и изменение им оборонительного оружия и тактики по мере того, как мы меняем характеристики наступательных ракет, в принципе могут быть описаны количественно, но на практике проблема заключается в том, что подобные действия совершаются в тайне. Комбинированные силы и сдвиг во времени могут быть исключены из модели из-за вычислительных трудностей, которые влечет за собой их рассмотрение.

Специалист по анализу систем, исключающий те или иные факторы из своей модели на том основании, что они не поддаются количественному анализу, должен быть совершенно уверен, что он не уклоняется от решения сложной задачи. Многие явления, которые на первый взгляд кажется

[16] См. приложение Б.

невозможным измерить, на самом деле поддаются подсчету и измерению. Даже если мы не можем оценить количественно политическую устойчивость системы наших баз в союзных странах, можно оценить зависимость их стоимости от этой устойчивости. Так, в одном из проведенных исследований по выбору типа ракет изучались варианты стратегических кампаний при допущениях о потере некоторых баз.

Элементы, исключенные из модели, не отбрасываются совсем: их откладывают для позднейшего рассмотрения. Когда на следующем этапе исследования мы изучаем результаты, полученные при помощи нашей модели, и пытаемся сделать заключения и дать рекомендации или когда мы собираем результаты, полученные в нескольких моделях, описывающих различные стороны нашей проблемы, мы должны проделать некоторую умственную работу и связать полученные результаты с элементами, опущенными при количественном анализе. Подтверждает ли политика размещения баз наши выводы или противоречит им? Здесь важно выявить те стороны проблемы, которые были исключены из рассмотрения в модели из-за сложности их количественного определения.

4.3. Объединение в группы описываемых количественно факторов

Проиллюстрируем этот процесс, используя пример, с которого мы начали оценку стоимости стратегических систем. Первоначальный список всех возможных факторов, стоимость которых нужно определить, оказывается слишком длинным. Мы включаем сюда расходы на оборудование для технического обслуживания, телетайпы, пульты управления, содержание и оплату личного состава, запасные части, недвижимое имущество, топливо, грузовики, подъемные краны, тренажеры, жилищное строительство, медицинскую аппаратуру, а также соответствующую часть стоимости содержания штабов Стратегического авиационного командования, Авиационного командования материально-технического снабжения и даже корпорации РЭНД и пр.

Размеры этого списка можно сократить, исключив факторы, которые не влияют на наши стратегические ракетные системы, и объединив оставшиеся факторы в несколько групп. Грузовики, подъемные краны, силовые агрегаты, тележки для ракет, такелажное оборудование, телетайпы, пульты управления — все это и многое другое можно объединить в группу штатного оборудования воинского подразделения. Расходы на обучение, содержание и оплату личного состава, а также на командировки объединяются в группу личного состава. Стоимость материалов, необходимых для работы монтажного и штатного оборудования, горюче-смазочных материалов, снабжения личного состава и так далее группируется под рубрикой «исходный запас». В свою очередь, эта группа входит в более широкий раздел — «запасов».

Дробление факторов на группы зависит от той частной задачи, которой мы занимаемся, и, следовательно, от количества требующихся деталей. Можно, например, прийти, к перечню расходов, включающему сооружения, крупное оборудование, легкое оборудование, запасы, средства транспортировки, личный состав, эксплуатационные расходы, горюче-смазочные материалы и накладные расходы.

Теперь мы продвинулись уже далеко вперед. Возникают вопросы: до каких пределов можно продолжать процесс объединения в группы? Какие категории расходов действительно скажутся на результатах анализа? По-видимому, это не расходы на сооружения, на оборудование, на запасы и так далее. Но что же тогда?

На вопрос о релевантности расходов, или, в более общем случае, релевантности переменных любого вида, нельзя дать однозначный ответ, так как он зависит от характера проблемы, для

решения которой создается модель, от конкретной задачи анализа.

В рассматриваемом нами примере все затраты выражались двумя коэффициентами — C_L и C_M. Коэффициент затрат *См* представляет собой стоимость военной операции в расчете на одну использованную ракету. Мы можем рассмотреть две кампании, в каждой из которых было израсходовано одинаковое количество ракет, но в первой использовалась тактика, при которой все цели атаковались при первом же залпе, вторая кампания была растянута на некоторый промежуток времени. (Следует иметь в виду, что рассматривается идеализированный случай, когда противник не поражает наши базы в период между залпами). Очевидно, первая кампания требует большего числа баз, обслуживающего оборудования, и стоимости обеих кампаний будут совершенно различными. Таким образом, помимо расходов, пропорциональных общему числу израсходованных ракет, существуют расходы, зависящие от числа ракет в залпе.

Расходы, приходящиеся на одну ракету в залпе, выражены в нашей модели коэффициентом C_L.

Наконец, существуют накладные расходы, которые не зависят ни от общего количества использованных ракет, ни от их количества в залпе. Эти расходы могут включать соответствующую часть стоимости работы различных вспомогательных организаций, например штабов главного командования, подразделений, занимающихся подбором личного состава, отладкой радиолокационных устройств и другие.

Накладные расходы не представлены в приведенной выше модели, так как предполагается, что они для конкурирующих систем будут в общем одинаковы.

Сделаем выводы. Мы заменили реальную ситуацию или, по крайней мере, один ее весьма важный и запутанный аспект, касающийся определения расходов, идеализированной системой, в которую входят всего три компонента: полная стоимость системы и два коэффициента затрат — C_L и См. Мы обнаружили определяющие факторы и построили модель для определения стоимости наших систем.

Конечно, в данном описании процесс создания модели выглядит гораздо проще, чем в действительности. Определение коэффициентов для каждой изучаемой системы требует всего опыта, рассудительности, интуиции и смелых предположений, какие только могут быть обеспечены отделом анализа расходов корпорации РЭНД, работающим совместно с техническими отделами. Это особенно справедливо в том случае, когда мы пытаемся определить стоимость системы, которой предстоит работать в будущем. Определение стоимости работы системы, еще не находившейся в действии,— неподходящее занятие для плохо информированного или несмелого человека. Действительно, специалист по определению стоимостей и расходов рискует гораздо больше, чем, например, специалист-ракетчик, от которого требуется всего лишь при помощи общих соображений оценить надежность, точность и другие характеристики своих ракет. Оба они могут ошибиться, но специалист по определению стоимостей знает, что его ошибки будут обнаружены задолго до того, как практика докажет ошибочность расчетов его коллеги-ракетчика.

4.4. Установление количественных соотношений между элементами

Когда мы выявили основные релевантные факторы, то следует определить, в какой взаимосвязи они находятся. В ряде случаев воздействие того или иного фактора на наши выводы вполне очевидно, но, как правило, связи между факторами сложны, а их результаты неочевидны. Это не означает, что анализ делает интуицию ненужной. Напротив, мы должны использовать интуицию при решении проблемы, применяя анализ для подтверждения полученных результатов,

для обострения нашей интуиции и иногда для того, чтобы показать, что интуиция подвела нас.

Если мы ослабим требования к точности наведения ракеты, т.е. увеличим допустимое среднее вероятное отклонение, то одним из результатов этого будет увеличение полной стоимости операции. Возросшие затраты могут быть оплачены долларами или некоторым количеством расщепляющихся материалов или тем и другим. Мы могли бы, применив мишени-ловушки, повысить вероятность достижения ракетой цели и тем самым компенсировать уменьшение вероятности разрушения цели доставленной боеголовкой (вследствие менее точной системы наведения). Или мы могли бы атаковать цель вторичным залпом, если в результате ошибки наведения первый залп окажется неудачным. Мы могли бы также увеличить мощность боеголовки.

Мы не можем сказать, насколько важным окажется непосредственное воздействие уменьшения точности на возрастание расходов до тех пор, пока не оценим его величину. Предположим, что мы установили ожидаемую величину промаха ракеты в 3000 *м* вместо требуемых 1500 *м.* Какой из способов компенсации уменьшения точности окажется самым дешевым? Во сколько обойдется каждый из них в долларах и в расщепляющихся материалах? И каким образом в данном случае доллары и расщепляющиеся материалы заменяют друг друга?

Если прямым результатом снижения точности системы наведения снаряда является возрастание расходов, то косвенный результат действует в прямо противоположном направлении. Менее точная система наведения является более простой, а более простая система будет, вероятно, более надежной. Только что мы оценивали ошибки наведения в долларах и расщепляющихся материалах. Теперь мы видим, что ошибка наведения и надежность также могут быть объектом взаимного обмена. Возросшая надежность означает уменьшение расходов опять-таки в долларах или в расщепляющихся материалах или в том и другом. Увеличение надежности играет во многом ту же роль, что и ослабление оборонительной системы противника. Увеличение надежности может даже оказаться несколько более желательным, так как снаряд, сбившийся с курса и попавший на Северный полюс, не отвлекает на себя действий оборонительной системы.

Другой результат использования простой системы заключается в том, что уменьшается время, затрачиваемое на ее доводку по сравнению со сложной системой; более простая и надежная, но менее точная система может быть введена в действие на несколько лет раньше, чем ее более сложный аналог. Мы, таким образом, оперируем теперь уже не только долларами и расщепляющимися материалами, но и временем.

Какой же из вариантов будет наиболее благоприятным? Разумеется, на этот вопрос ответить трудно даже с помощью анализа и почти невозможно, опираясь только на интуицию и умозрительные рассуждения.

Рассмотрим еще один пример, раскрывающий те трудности, с которыми мы сталкиваемся при попытке определить, каким образом связаны различные факторы. Представим себе стратегический удар, состоящий из ряда одинаковых залпов, при каждом из которых атакуется некоторое число целей, например 20. Положим, что из-за недостаточной надежности, потерь при прорыве оборонительной системы противника и ошибок наведения против каждой цели посылается четыре ракеты. Если мы увеличим количество целей, атакуемых при каждом залпе, то произойдет следующее. Общее количество залпов и, следовательно, продолжительность удара уменьшится. Количество ракет, с которыми, придется вести борьбу оборонительной системе, возрастет, и подавление этой системы окажется более успешным, вследствие чего увеличится вероятность того, что ракета долетит до цели. Мы можем теперь сократить количество ракет, приходящееся на каждую цель. Полное количество ракет, используемое в ударе для разрушения заданной системы

целей, уменьшится, и соответственно уменьшится полная стоимость кампании в долларах и расщепляющихся материалах.

Но с другой стороны, увеличение числа ракет при одновременном запуске повлечет за собой увеличение числа пусковых установок и, следовательно, увеличение расходов на материальное обеспечение и службу тыла. Будет ли это увеличение расходов покрыто уменьшением стоимости ракет и боеголовок, с первого взгляда не ясно.

Мы начали с того, что рассмотрели изменение только одной переменной, количества ракет при одном залпе, и обнаружили, что нам приходится иметь дело и с количеством ракет, приходящимся на один залп, и с продолжительностью кампании, и с оптимальным количеством ракет, приходящихся на одну цель, и со стоимостью ракет и материального обеспечения. Все эти факторы связаны друг с другом, и человек, который сможет найти решение в такой ситуации при помощи одной лишь интуиции, конечно, является уникумом.

4.5. Создание модели и реальный мир

Специалист по анализу систем может помочь человеку, принимающему решения, не только тем, что создаст модель и использует ее для анализа проблемы. Он может также дать сводку эмпирических данных или представить памятную записку; но даже в этом проявляются некоторые черты процесса создания модели, так как количество эмпирических данных безгранично, а сам процесс выбора некоторых из них и отсеивания других требует явных предположений о том, что именно является важным, какие соображения оказывают влияние, какие переменные могут быть связаны друг с другом. Даже при составлении памятной записки процесс решения может быть разбит на несколько этапов. Можно указать лицу, принимающему решения, какие решения должны быть приняты на каждом этапе, какие факторы являются определяющими и каковы возможные выходные параметры. Мы, однако, будем использовать термин «модель» для обозначения системы точно заданных количественных переменных.

Модель, которую мы создаем, будет зависеть от моделируемого явления, т.е. от того аспекта действительности, который привлекает наше внимание. Но это не все. Не существует какой-либо одной, определенной модели стратегических ракет или модели для тактических авиационных операций и так далее. Какую именно модель мы построим, зависит от тех вопросов, на которые мы хотим получить ответ при помощи модели, и от тех решений, которые нам предстоит принять, руководствуясь моделью. Не существует универсальной модели, которая ответила бы на все вопросы. Скорее, мы должны приспосабливать модель к тем или иным вопросам.

Для иллюстрации этого положения рассмотрим исследование, предпринятое марсианским аналогом корпорации РЭНД в связи с системой летающих тарелок. В этом исследовании изучается вопрос о летающих тарелках, изготовленных на Марсе и отправляемых в разведывательные полеты над Соединенными Штатами.

Когда тарелка находится в процессе изготовления, для специалиста по определению стоимости она представляет собой лишь два числа — ее порядковый номер в производстве продукции этого вида и количество марсианских человеко-часов, затраченных на его производство.

Эти два числа весьма важны для определения кривой обучения , при помощи которой могут быть оценены будущие расходы.

После того как тарелка построена, ее по каналу на судне перевозят на склад. На этом этапе тарелку

можно характеризовать другим набором чисел — линейными размерами и весом, а также классификацией груза по нормам перевозок. По своей структуре модель в этом случае представляет собой ряд таблиц, выражающих стоимость транспортировки в зависимости от веса, кубатуры, вида груза и маршрута.

После того как тарелка запущена и находится в свободном полете в гравитационных полях Марса, Земли и Солнца, не говоря о Фобосе, Деймосе и Луне, для расчета ее траектории необходима новая модель. Здесь возможно идеализированное представление о тарелке как о материальной точке в пространстве, обладающей определенной скоростью. Любой конкретно мыслящий человек мог бы возразить, что такой подход совершенно нереалистичен; что мы пренебрегаем размерами, формой, материалом; что диаметр тарелки 30 *м,* что она выкрашена в ярко-красный цвет и что на ней находится экипаж из трех марсиан. Но все это почти не сказывается на ответах, получаемых с помощью нашей модели. Взаимоотношения между элементами модели — ее, так сказать, внутренняя структура — могут быть представлены в виде расчетной схемы, вводя в которую направления скорости полета тарелки, получаем траекторию ее полета.

Далее тарелка входит в атмосферу Земли и становится объектом внимания специалиста уже не по небесной механике, а по аэродинамике. Если в предыдущей модели тарелка рассматривалась как материальная точка, то теперь мы должны учитывать ее форму, коэффициент сопротивления и скорость.

Если воздушный контроль и сеть оповещения командования ПВО засекут тарелку на радиолокационной станции дальнего обнаружения, то она будет рассматриваться как поверхность, отражающая радиолокационные лучи, характеризуемая материалом, размерами, формой и внешним видом.

Если тарелка проявит враждебные намерения и против нее будут выпущены зенитные ракеты, в действие вступит другая модель. Для оценки поражаемости нас интересует ее силуэт, а также размещение топливных баков и других уязвимых элементов конструкции. И так далее. Одна и та же область действительности может быть смоделирована по-разному. Релевантные факторы одной модели могут оказаться совершенно несущественными для другой.

Рассмотрим другой пример. При полетах человека за пределами атмосферы, на высотах больше 15 *км,* становятся важными те проблемы авиационной медицины, которые не были существенными при полетах на меньших высотах. Представим себе группу специалистов по авиационной медицине, каждый из которых занимается различной совокупностью проблем. Для одного из них пилот подобен аналоговому вычислительному устройству. Входные сигналы вводятся в это устройство посредством органов слуха, зрения, осязания и равновесия. Сигналы на выходе устройства или ответы на входные сигналы представляют собой те действия, посредством которых пилот управляет летательным аппаратом. Связь между входными и выходными сигналами осуществляется функцией управления, имитирующей пилота. В одной весьма упрощенной модели зависимость между входными и выходными сигналами предполагается такой же, как зависимость между входными и выходными напряжениями электрической цепи, содержащей сопротивление, индуктивность, емкость и линию задержки.

Другой специалист (медик) считает, что центр этого вычислительного устройства (пилота) — мозг — должен находиться в среде, защищенной от внешних тепловых нагрузок. В то время как температура вне тела меняется от 5 до 50 °С, температура вычислительного устройства — мозга — поддерживается постоянной в пределах ± 0,5 °С посредством потовыделения, излучения от кожи и других реакций, благодаря предохраняющему жировому слою, а так же при помощи механизма сервоуправления внутри тела. Модель, используемая для описания и анализа этой систе-

мы, будет совершенно отличной от предыдущей.

Еще одна модель будет использована специалистом по сердечно-сосудистой системе, изучающим, как поддерживается постоянный поток крови через мозг. И наконец, рассмотрим проблему защиты мозга пилота от механического удара. Мозг находится во взвешенном состоянии в спинномозговой жидкости, заключенной в черепную коробку, которая расположена на позвоночном столбе с эластичными межпозвоночными хрящами; тот опирается на таз с мягкими ягодичными мышцами. В простейшей и достаточной для некоторых целей модели рассматривается масса, пружинно соединенная с подвижным основанием. Та же модель применяется иногда при изучении перемещения зданий во время землетрясения.

Итак, для описания одной и той же физической системы может быть использовано много различных моделей. То, что существенно для одной модели, неважно для другой.

Попутно заметим, что последняя модель — масса, пружинно соединенная с подвижным основанием,— мало походит на рассмотренную нами вначале модель выбора ракетной системы, состоящей из нескольких математических уравнений. Однако обе эти модели обладают некоторыми важными общими чертами; они являются идеализированными образами некоторых аспектов действительности; имитируют при помощи анализа или механики реальные системы и обе пренебрегают многими особенностями тех ситуаций, которые они моделируют. Это пренебрежение не обесценивает модели, когда они используются в соответствии со своим назначением, а только суживает ту область, где они являются полезными. Обе модели связывает друг с другом ряд величин, взаимосвязь которых слишком сложна, чтобы ее можно было проследить при помощи интуиции; в одном случае это оборонная мощь, расходные коэффициенты и надежность; в другом — силы смещения и коэффициенты упругости. Иначе говоря, каждая модель позволяет установить значения входных параметров и затем вычислить или измерить значения выходных параметров (стоимость системы в одном случае, движение массы — в другом). В обеих моделях эти значения выходных параметров получаются достаточно точными и достоверными. Однако это не должно ввести нас в заблуждение в том смысле, будто соответствующие величины в реальной жизни нам известны с такой же точностью и достоверностью. То, насколько хорошо полученные при помощи модели результаты согласуются с действительностью, зависит от способностей и суждений человека, создающего модель, при выборе исходных предпосылок, учитываемых переменных и взаимосвязей, включаемых в модель,

Выше упоминалось, что в модель ракетной системы, используемой в приложении Б, включены так называемые «операционные переменные» — количество целей и ракет в залпе. Эта модель достаточно проста и при ее составлении исходили из того, чтобы оптимальные значения этих операционных переменных можно было определить аналитически, так же, как средствами дифференциального исчисления находят наивысшую точку на кривой. В других моделях мы можем определить оптимальные значения, рассчитав большое количество вариантов при помощи вычислительных машин, цифровых или аналоговых. В иных же случаях для того, чтобы прийти к выводу о нужных значениях тех или иных переменных, используются суждения человека.

Надо сказать, что существуют модели, составной частью которых является человек. Мы можем сделать человека частью модели, предоставив ему вращать рукоятки потенциометра и снимать показания со шкал приборов аналогового устройства. Человек находится в постоянном взаимодействии с другими элементами модели: когда он вращает рукоятки потенциометра, он воздействует на остальные устройства, изменяя значения некоторых переменных модели; в свою очередь остальные устройства воздействуют на человека, когда он считывает со шкал приборов значе-

ния переменных модели.

Когда наша модель включает двух или более людей, принимающих решения и соревнующихся друг с другом, мы говорим о военной игре. Возьмем пример из деятельности корпорации РЭНД; если бы вы были использованы в такой игре, вы могли бы оказаться в роли командующего ВВС, который должен решить, как распределить свои истребители, истребители-бомбардировщики, бомбардировщики, тактические ракеты и атомное оружие между целями, состоящими из аэродромов, линий снабжения и войск. Ваш соперник должен принять аналогичные решения, и вы сидите и вращаете рукоятки потенциометров для того, чтобы найти нужное распределение сил между несколькими целями. В этой модели игроки за «красных» и «синих» являются такими же составными ее частями, как и механические элементы. Игроки принимают решения о действиях своих сил, пользуясь суждениями и интуицией.

Участие человека в этой модели необходимо так же, как механическая часть, но роль человека ограничена; он не свободен, а, скорее, связан всеми ограничениями, присущими модели, которые заложены в машины для того, чтобы представить результаты отдельных исследований по различным частям проблемы и собрать воедино знание и выводы относительно этих частей.

4.6. Суждения человека

Принципы военной игры можно использовать и без ее формальных атрибутов. Так, при анализе проблемы обороны Соединенных Штатов от нападения сотрудник корпорации РЭНД рассматривает ее сначала с позиций обороняющегося. Затем он мысленно меняется местами с командующим силами «красных» и стремится подавить систему обороны. Далее он снова становится командующим силами обороны и пытается парировать самые сильные удары атакующего противника. И так далее. Такое использование принципов военной игры (или свободного соревнования) часто может быть самым ценным вкладом этой игры в решение рассматриваемой проблемы. Если штаб планирует возможное развертывание подвижных тактических сил для участия в периферийной войне, то самый умный человек в штабе должен взять на себя неблагодарную работу критика плана и действовать как докучливый спорщик и вмешивающийся во все арбитр. И точно так же, как можно вести соревнование без формальной игры, возможно, проделать все действия, присущие игре, без реального свободного соревнования.

Мы говорили об использовании суждений как элемента модели. Суждения и интуиция человека всегда присутствуют в модели, но не всегда они четко определены. Они присутствуют, когда человек конструирует модель, т.е. решает, какие факторы влияют на рассматриваемые проблемы и какова должна быть взаимосвязь между этими факторами в модели; когда человек, пользующийся моделью, решает, какие численные значения приписать входным параметрам, вводимым в модель; и когда человек проверяет, анализирует и интерпретирует результаты, т.е. выходные параметры модели.

То, что любая модель включает суждения, интуицию и предпосылки, следует помнить, когда мы изучаем обладающие высокой точностью результаты на выходе модели. Важно помнить, что в вычислительных устройствах нет ничего магического, является ли это устройство счетной линейкой или цифровой вычислительной машиной. В любом случае машина служит только для ускорения процесса, посредством которого мы раскрываем значение наших допущений, оценок, факторов планирования. Независимо от того, используются машины или нет, мы должны обращаться к ис-

ходным предпосылкам, когда пытаемся объяснить результаты, полученные при помощи модели.

4.7. Модель, использующая вычислительную машину

Модели, которые мы рассматривали до сих пор, очень просты и, по-видимому, не требуют для своего создания ничего, кроме счетной линейки, карандаша и бумаги. Перейдем теперь к другому крайнему с этой точки зрения случаю и рассмотрим модель, центральным элементом которой является быстродействующая электронная вычислительная машина.

В одном из исследовательских отчетов[17] сообщается следующее.

Создание модели стратегических операций является одним из разделов в серии работ корпорации РЭНД, связанных с разработкой моделей, использующих вычислительные машины для нужд стратегического планирования. Это как бы попытка моделировать при помощи быстродействующей вычислительной машины основные элементы двусторонней стратегической войны в воздухе. В этой модели со всеми подробностями разыгрываются во времени такие события, как подготовка вылета, отправление самолетов, их полет по своим маршрутам, дозаправка топливом, действия самолетов ПВО объектов, бомбардировка целей и ограничение действий авиации из-за выпадения радиоактивных осадков — все это при конкретных ограничениях географического характера и ограничениях в наличных силах, характеристиках самолетов, оборонной мощи, возможности баз и поражающего действия оружия.

Модель построена по методу Монте-Карло[18]; это означает, что представленные в ней события (около 30) имеют вероятностный характер. Когда одно из таких событий наступает в ходе моделированной войны, то машина для определения его исхода вырабатывает случайное число и сравнивает его с вероятностью *p*.

Чтобы разыграть события, происходящие в течение первых двух с половиной дней тотальной войны в воздухе, т.е. войны, вовлекающей большую часть ВВС, требуется около шести часов работы вычислительной машины ШМ-704[2].

Модель представляет войну непосредственным образом — так же, как любой человек мог бы размышлять о ходе двустороннего конфликта, если бы мог уследить за всеми деталями. Модель начинается со списка начальных условий для каждой стороны, включающего самолеты (бомбардировщики, заправщики, транспортные самолеты), базы бомбардировщиков, оборонительные сооружения (радиолокационные станции, ПВО объектов и базы истребителей) и их состояние. Помимо того, каждая сторона должна обладать набором планов. План является, скорее, стратегическим, чем контрольным графиком полета, определяющим старты и прохождение контрольных пунктов. Модель должна учитывать непредвиденные обстоятельства, возникающие в ходе войны, и допускать возможность альтернативных действий. Как только входные данные заложены в машину, она «ведет войну» без постороннего вмешательства.

Для описания тотального конфликта требуется очень большое количество исходных данных. Например, входные данные для каждого из рассчитываемых в настоящее время вариантов составляют примерно 150 000 чисел.

Главными выходными данными модели являются наборы историй отдельных подразделений. Каждое

---

[17] Т.е. кривой, характеризующей изменение стоимости изделия за счет накопления опыта при увеличении объема производства. *(Прим. ред.)*

[18] Естественные спутники Марса. *(Прим. ред.)*

значительное событие, происходящее с авиационным подразделением в ходе воздушной войны, регистрируется на магнитной ленте; сведенные воедино, они могут составить поучительную историю военных действий. Кроме историй подразделений запоминаются также некоторые другие важные показатели: количество самолетов, уничтоженных на базах, и самолетов, сбитых двумя видами обороны, количество эпицентров ядерных взрывов, количество баз и оборонительных сооружений, уничтоженных или выведенных из строя из-за радиации, и т.д. Изменение этих величин во времени может быть прослежено по отпечатанным таблицам или чаще по графикам, сфотографированным с экрана осциллографа .

[1] Обобщения этой модели, известные под названиями «модель воздушной войны» и «модель STAGE», были разработаны отделом анализа воздушной войны штаба ВВС США. В некоторых случаях эти более обширные программы требуют значительно большего машинного времени (например, до 30 *час* на машине IBM-709).

Независимо от того, является ли модель крупномасштабной, использующей быстродействующую вычислительную машину, или только счетную линейку, карандаш и бумагу, она — полезный инструмент, помогающий разрешить сложные проблемы реальной жизни.

Попытка использовать модель как электронный вариант дельфийского оракула, от которого якобы можно получить ответ на самые сложные и широкие проблемы, приводит к бессмысленным результатам.

4.8. Заключение

Прошедшее десятилетие ознаменовалось изменениями в подходе корпорации РЭНД к анализу систем, т.е. аналитическим исследованием сложных проблем выбора при наличии неопределенности. Эти изменения можно охарактеризовать нестрого, но наглядно: в дни нашей молодости наша деятельность выглядела более научной. Иными словами, в то время мы придавали больше значения описанию некоторой рассматриваемой части реальной жизни единой аналитической моделью. Поставив задачу, приняв исходные допущения, отобрав критерии, мы могли обратиться к более интересующим нас вопросам о том, как лучше применить современный математический аппарат и быстродействующие вычислительные машины для получения правильного решения, из которого можно было бы получить выводы и рекомендации.

В реальной жизни существует много проблем, для которых такой подход является разумным и даже рекомендуемым. Есть проблемы, которые невозможно решить, не используя самые мощные средства математики и вычислительной техники. Оптимальное распределение веса и тяги между несколькими ступенями ракеты, запускаемой к Луне, определение ее начальной траектории — это четко поставленные задачи, требующие точного и строгого решения, но, с другой стороны, подобный подход не пригоден в анализе таких проблем, как устойчивость термоядерной реакции, структура стратегических сил сдерживания или характер тактического оружия на следующей стадии развития. Только часть вопросов, составляющих подобные проблемы, может быть решена аналитически. Дело в том, что современный аппарат анализа служит для того, чтобы рассматривать сложные проблемы без грубых упрощений и идеализации. Но главная причина того, что методы оптимизации не удовлетворяют требованиям, состоит в той роли, которую играет неопределенность в нашем грешном, но прекрасном мире. Мы не анализируем проблему, имеющую вполне определенное содержание, характерными только для нее средствами. Мы не можем точно определить наши цели. Вместо этого мы должны пытаться построить (а не анализировать) систему, которая будет в некотором смысле удовлетворительно действовать при разнообразных

непредвиденных обстоятельствах, лишь смутно проступающих в будущем.

Теперь мы усвоили, что новые и очень важные технические средства — быстродействующие вычислительные машины, военные игры, теория игр, линейное и динамическое программирование, метод Монте-Карло и другие -служат мощным подспорьем для интуиции и правдоподобных рассуждений. Мы научились интересоваться больше реальной жизнью, чем идеализированной моделью для ее анализа; больше интересоваться практической проблемой, требующей решения, чем интеллектуальными и формальными приемами ее решения.

Утверждение, что мы теперь полагаемся меньше на аналитический подход, не следует считать доводом в пользу ненаучных исследований, алогичных аргументов и высосанных из пальца рассуждений. Подробный количественный анализ, выполненный на высоком уровне, так же важен (на своем месте), как и раньше. Руководитель проекта должен уметь отстаивать свои тезисы в критически настроенной, но рационально мыслящей аудитории не голословными утверждениями, а логическим анализом.

Я хочу закончить эту главу словами бывшего члена руководства корпорации РЭНД Германа Кана:

«Сегодня специалисты по анализу систем стали скромнее в оценках своих возможностей, а результаты их работ стали лучше. Если дело пойдет так и дальше, то мы, быть может, добьемся соответствия претензий и результатов».

5. КРИТЕРИИ

Р Н. Маккин

Целью анализа систем является облегчение выбора предпочтительной системы оружия или образа действий ряда альтернатив. Проблема критерия заключается установлении *признака, по которому определяется предпочтительность.* Например, критерием при выборе стратегической системы сдерживания может быть наименьшая зависимость поддержания ее запланированной мощности: таком как наступательных, так и оборонительных возможностей противника. Критерий этого типа крайне важен при оценке конкурирующих систем. Отметим, как изменяются результаты, если использовать другие возможные критерии. Возьмем крайний случай: если при выборе между самолетами и ракетами руководствоваться максимальным ущербом противнику в расчете на один погибший аппарат, то выбор будет в пользу самолетов; если же руководствоваться максимальным ущербом на один погибший экипаж, то выбор будет в пользу ракет.

Следует заметить, что задача специалиста по анализу систем может быть в том, чтобы установить последствия применения альтернативных систем оружия и сообщить об этих последствиях лицу, принимающему решения, подобно тому, как это делает консультант, помогая потребителю выбрать, например, автомобиль или холодильник. Результаты его анализа обычно не облекаются в форму «Автомобиль А является наилучшим», а всего лишь устанавливают, что цены различных автомобилей такие-то, а некоторые их важные эксплуатационные характеристики такие-то. Эта функция анализа может быть чрезвычайно важной. Если она является и единственной, то критерия в собственном смысле слова, указывающего на предпочтительное оружие или образ действий, не существует, как не существует и проблемы установления решающего признака предпочтительности. Тем не менее, с этой проблемой тесно связано решение вопроса о том, знание *каких именно* результатов и характеристик может существенно облегчить выбор между альтернативами. В дальнейшем речь будет идти главным образом об определении формальных признаков предпочтительности и будет предполагаться, что целью анализа систем является окончательный

выбор наилучшего образа действий. Однако значительная часть сказанного далее справедлива и для упомянутой проблемы определения характеристик потребительских товаров, что может оказаться полезным для лиц, принимающих решения.

Как указывается в других частях книги, критерии учитывают как затраты, так и результат в достижении целей. С одной стороны, заявление о том, что мы хотим иметь самую дешевую систему, не является критерием. Такое заявление бессмысленно, ибо в нем ничего не говорится о том, что именно мы хотим получить за наименьшую цену. С другой стороны, недостаточно сказать, что мы хотим иметь систему, способную подавить, по крайней мере, 80 из 100 объектов противника. Существует несколько путей к достижению этой цели, если она осуществима, и именно с помощью соответствующего критерия мы должны выбрать предпочтительный образ действий.

Рассмотрим, каким образом затраты и поставленная цель входят в критерий. Можно «зафиксировать» цель как способность причинить определенный итоговый ущерб противнику, и тогда мы должны искать самый дешевый путь к достижению этой способности. Но цель и затраты могут войти в критерий иным образом. Цель может быть определена как способность причинить противнику ущерб определенного типа, причем размеры этого ущерба не фиксируются; напротив, фиксируются затраты и при заданных затратах ищут способ достижения максимума поставленной цели. Заметим, что термин «цель» используется для обозначения тех или иных задач. Если не иметь это постоянно в виду, то использование термина может привести к путанице, так как в конечном счете цель и критерий могут показаться одним и тем же. С одной стороны, можно сказать, что нашей конечной целью будет достижение максимальной военной мощи при заданных ограничениях, а с другой стороны, это же понятие может быть превосходным критерием. Поэтому необходимо помнить, что под целями мы подразумеваем положительные величины или достижения, к которым мы стремимся и которые, как правило, влекут за собой затраты (отрицательные величины).

При всех присущих проблеме критерия ограничениях она может включать детальное рассмотрение целей и затрат и ей отводится львиная доля в анализе системы. Если изменяется мера ущерба или способ измерения затрат или если налагаются различные ограничения, то все это можно рассматривать как изменение критерия. Иными словами, трудно провести грань между проблемами критерия и проблемами измерения. Здесь, однако, мы ограничимся общими вопросами, касающимися критериев, исключив вопросы о подробных измерениях.

5.1. Неизбежность приближенных критериев

По-видимому, в идеальном случае нам следовало бы выбирать такую систему оружия или образ действий, которые обеспечивали бы максимальную военную мощь.

Но в таком утверждении не больше пользы, чем в заявлении, что мы желаем самого лучшего. Ибо никто не знает в точности, как связана военная мощь с результатами различных действий. Военные достижения и затраты редко можно выразить в одних и тех же единицах (например, в долларах), и мы не можем рассчитать разницу доходов и расходов для каждой из конкурирующих систем. По этим причинам следует использовать не идеальные и окончательные критерии, а рабочие приближенные критерии. Но нам вовсе нет нужды использовать идеальные критерии для того, чтобы наш анализ имел ценность. Как говорится в пословице: «Можно много пройти в башмаках, которые немного жмут». Например, минимальные затраты для достижения определенной боевой возможности системы не являются ни окончательным, ни идеальным критерием; если бы мы задали другой период действия системы или другую боевую способность или рассмотрели другие выходные параметры, а не способность к подавлению объектов, то сравни-

тельные результаты действия различных систем могли бы выглядеть по-иному. Но нас интересует именно этот тип способности, поэтому данный критерий указывает на наилучшую систему. Так или иначе, уместно сравнивать различные ударные силы по этому признаку, ибо важно иметь хотя бы такую информацию о результатах действия различных систем.

5.2. Субоптимизация и критерии

Избрать хороший критерий трудно, в частности, потому, что задачу выбора системы необходимо подразделять на составные части, или подпроблемы. Процесс принятия решения неизбежно разделяется на этапы; часть решений принимают «на высшем уровне», а часть передают «на низший уровень». Один человек или одна группа не могут принять все решения. Подобным образом должен быть разбит по частям и процесс анализа; альтернативы выбора для всех уровней невозможно анализировать одновременно. (Не следует связывать с терминами «на высшем» и «на низшем уровне» большую или меньшую важность вопросов).

Таким образом, и специалисты по анализу систем, и лица, принимающие решения, всегда сравнивают альтернативы действий лишь в некоторой *части* военной проблемы. Другие проблемы выбора временно откладываются, возможные решения некоторых вопросов не принимаются во внимание, а конкретные решения других вопросов считаются известными. Цель окончательного анализа — найти оптимальные решения подпроблем или, точнее, усовершенствовать предложенные решения подпроблем. На языке анализа систем этот процесс называется субоптимизацией.



Рис. 5.1. Пример субоптимизации.

С помощью рис. 5.1 можно уяснить, что представляет собой субоптимизация и каковы ее преимущества и недостатки. Когда мы пытаемся решить одну из проблем выбора, указанных на рис. 5.1, мы временно отстраняем многие другие. Сравнивая варианты действий на каждом уровне, можно рассматривать одновременное изменение лишь в немногих проблемах, подлежащих решению.

В противном случае модель стала бы невероятно громоздкой и, как было указано ранее, количество необходимых расчетов значительно бы возросло. Сравнивая стратегические системы оружия, мы не можем одновременно изыскать вариант распределения бюджета ВВС, оптимальный одновременно. Для командования ПВО и тактического авиационного командования. Мы каждый раз должны выделять самостоятельную подпроблему и считать решения на других уровнях известными или пренебрегать ими.

Субоптимизация дает определенные преимущества. Одно из них состоит в том, что при анализе узкого вопроса его можно рассмотреть более детально.

Модели могут быть более подробными и поэтому давать более точные результаты. С другой стороны, субоптимизация вызывает большие трудности при отборе критериев, так как критерии для низших уровней могут быть несовместимыми с критериями на высших уровнях. Рассмотрим вопрос о наилучшем бомбардировочном прицеле и возьмем крайний случай: если критерием служат минимальные затраты для достижения некоторых технических характеристик, то прицел может оказаться слишком большим, чтобы его можно было разместить на реальном самолете. Хорошее решение проблемы прицела зависит от всей остальной бомбардировочной системы. Критерий при выборе наилучшего бомбардировочного прицела должен согласоваться с критерием при выборе наилучшего бомбардировщика. Рассмотрим другой крайний случай: предположим, что мы сравниваем различные типы пулеметов и, требуя от них сохранения работоспособности в течение трех лет боевых действий, принимаем в качестве критерия наименьшую стоимость пулемета. Однако практика подсказывает, что требовать такой длительности действия излишне, так как пулеметы, обычно выходят из строя, скажем, после трех месяцев боевых действий. Критерий для выбора наилучшего пулемета должен быть связан с критерием для выбора эффективных наземных сил. Следовательно, при выборе критерия необходимо добиваться его совпадения с критерием на более высоком уровне.

Итак, правдоподобные критерии на низших уровнях вполне могут быть несовместимыми с критериями на высших уровнях. Это не означает, что мы должны всегда проводить анализ только для проблем выбора на высших уровнях, наоборот, анализ систем *должен* иметь дело с подпроблемами. Для многих таких подпроблем *могут* быть выявлены определяющие факторы и отобраны разумные критерии. При выборе ракет стратегического авиационного командования нет необходимости одновременно решать проблемы о наилучшем вертолете для военно-морских сил и об оптимальном бюджете обороны. Влияние различных типов вертолетов и различных бюджетов (в разумных пределах) на характеристики ракетных систем может оказаться незначительным, и мы не принесем особого вреда, если при сравнении этих систем пренебрежем этим влиянием. Из всего сказанного следует, что мы должны постоянно помнить о преимуществах и недостатках описанного метода и при любом анализе выбирать разумное компромиссное решение, которое, с одной стороны, поможет избежать слишком обобщенных моделей, а с другой стороны — чрезмерно суженных критериев.

5.3. Некоторые распространенные ошибки при выборе критериев

В связи с необходимостью использования приближенных критериев и разбиения части процесса анализа всегда существует опасность выбора ложного критерия. Некоторые из наиболее часто встречающихся ошибок можно сгруппировать; на них следует остановиться особо.

Недооценка абсолютного размера цели или затрат. Одним из распространенных критериев является отношение эффективности, т.е. достигнутых результатов к затратам. Например, при выборе бомбардировочной системы критерием может быть максимальное отношение количества уничто-

женных целей к затратам, иначе говоря, максимальный ущерб противнику Б расчете на один доллар. Такой критерий может показаться вполне разумным, однако ему могут удовлетворять самые разнообразные системы: от системы стоимостью в 500 млрд. долл. до дешевого оружия с малой эффективностью. Фактически такой критерий будет одобрять применение наличного оружия ранних выпусков. Предположим, например, что одна бомбардировочная система, сравнительно простая с точки зрения ее поддержания в боевой готовности, может разрушить) целей и обходится в 1 млрд. долл. (отношение 10: 1), а другая система сможет разрушить 200 целей и обойдется 1 50 млрд. долл. (отношение 4: 1). Следует ли нам избрать первую систему, с помощью которой мы можем проиграть войну, впрочем, без особых расходов? Ответ будет отрицательным: мы не имеем права пренебрегать масштабами нашей деятельности, т.е. абсолютной величиной ущерба, который может причинить система противнику, или абсолютной величиной необходимых затрат.

Чтобы еще лучше уяснить это положение, предположим, что мы сравниваем два дома и больше всего при выборе дома нас интересует его площадь. Насколько хорошо выполнит роль критерия отношение эффективности к расходам? Пусть дом Л имеет площадь 1500 *кв. футов* и стоит 18 000 долл. (отношение 1: 12), а дом *Б* имеет площадь 2800 *кв. футов* и стоит 28000 долл. (отношение 1: 10). Следует ли отсюда, что наш выбор должен быть в пользу дома Б? Ясно, что и площадь дома, и его стоимость мы должны оценивать, пользуясь абсолютными цифрами. Истинный вопрос, который остается скрытым, если пользоваться относительными величинами, состоит в следующем: стоит ли заплатить лишние 10 000 долл. за лишние 1300 *кв. футов?*

При отсутствии ограничений па бюджет или масштабы деятельности относительный критерий может привести к принятию крайних решений и оказаться несовместимым с критериями на высших уровнях.

Предположим теперь, что мы ограничиваем рассматриваемый бюджет некоторыми пределами. Разумеется, к такому случаю можно отнести приведенный выше пример. Пользуясь относительным критерием, мы уже не можем выйти за установленные пределы, но значение этого критерия остается неясным до тех пор, пока мы не сузим рассматриваемый диапазон до фиксированного бюджета или цели.

Неверный выбор цели или ее размеров. Для большинства проблем наиболее подходящим критерием, по-видимому, является обеспечение максимального результата в достижении цели z при заданных расходах или обеспечение минимума расходов для достижения определенного результата. Эти типы критериев эквивалентны, если размеры цели или расходов одинаковы в обоих критериях. Иначе говоря, если критерий, заключающийся в обеспечении максимальной способности разрушения объектов противника при бюджете в 1 млрд. долл. приводит к образу действий, когда поражается 10 объектов, то критерий, состоящий в обеспечении минимальных затрат для разрушения заданного количества объектов (10), приведет к тому же образу действий. Выбор того или иного из этих критериев в значительной степени зависит от того, что именно — затраты или цель — может быть задано с большей степенью точности.

При выборе критерия возможна ошибка еще одного типа — неправильный выбор цели действий или объема затрат. Неправильный выбор возможен в отношении цели и в отношении затрат, но мы остановимся только на первом. В рассмотренном примере, если цель действий определена как способность к разрушению 10 объектов, наилучшей будет одна система; если же поставлена цель уничтожения 200 объектов, то лучшей будет иная система. Выбор предпочтительной системы может также зависеть от степени ущерба, наносимого противнику при подавлении одного объекта, каждой из систем. Таким образом, ошибочный выбор цели может привести к вы-

бору неверного критерия.

Пренебрежение неопределенностью. Другой тип ошибки при выборе критерия состоит в том, что пренебрегают неопределенностью. Например, определив цель как способность разрушить 200 объектов противника, мы можем упустить из виду то, что нам неизвестен конкретный вид будущих военных действий и, следовательно, тип этих объектов. Подлежащие разрушению объекты, возможно, будут военными сооружениями противника или промышленными центрами с большим населением или различными комбинациями того и другого. Если критерий, выбранный применительно к одной конкретной цели, пренебрегает возможным наличием других целей и уводит от того, чтобы застраховаться от непредвиденных обстоятельств, то такой критерий может привести к неверным результатам.

Критерий может упустить из виду неопределенность относительно типа войны и стратегической ситуации. Легко недооценить также неопределенность во всем, что относится к технологии, а также наличие случайных событий. Предположим, что некоторая система может *в среднем* разрушить заданный комплекс объектов при наименьших расходах или разрушить наибольшее количество объектов при заданных расходах. Предположим, однако, что система дает сбой один раз из пяти. Очевидно, что при выборе системы важны и другие выходные параметры, кроме среднего или ожидаемого результата.

Некоторые возможные действия при неопределенности показаны в последнем параграфе этой главы. Из-за наличия неопределенности возникают некоторые весьма тонкие проблемы, но здесь мы остановились на простейших и самых общих вопросах. Следует подчеркнуть, что подход к выбору критериев при наличии неопределенности может привести к серьезнейшим ошибкам.

Недооценка воздействия на другие операции. Еще один тип ошибки состоит в том, что выбираются критерии, не позволяющие выявить, каким образом влияют альтернативные варианты действия на затраты и достижение поставленных целей в других операциях. Предположим, что мы сравниваем различные типы истребителей и производим выбор по признаку минимальных затрат, необходимых для уничтожения с вероятностью в 90% истребителей противника в парном бою. Здесь масштабы деятельности ограничены и нет оснований опасаться, что с помощью относительного критерия мы выберем в качестве наилучшего устаревший самолет Р-39 . Но остаются другие трудности. Истребитель, обладающий такой эффективностью в парном бою, может быть очень хорош при индивидуальных действиях, но сравнительно мало эффективен при действиях групповых. Данный критерий не позволяет учесть влияние действий группы на эффективность боя, на надежность и возможные неудачи, на диапазон и частоту контакта с противником и так далее.

Если пользоваться этим критерием, то может оказаться, что самолет будет стоить так дорого, что мы сможем приобрести лишь небольшое количество самолетов этого типа. Следовательно, трудно рассматривать эту подпроблему в таком аспекте; чтобы выбрать разумный критерий, следует рассмотреть действия истребителей в операции более широкого масштаба.

Но эффективность истребителей в операции более широкого масштаба может отрицательно повлиять на достижение других целей (или увеличить затраты на их достижение).

Вот простой пример: оружие может оказаться настолько эффективным, что противник переведет часть своих сил на выполнение других задач. Очевидная эффективность этого оружия не будет полностью реализована за счет появления новых трудностей в других местах Неправильные представления о затратах. Предположим, что критерием является максимальное количество объектов противника, разрушенных при помощи заданного запаса расщепляющихся материалов. По

такому признаку может быть выбрана система, расточительно использующая самолеты и экипажи; на самом деле анализ должен учитывать не только расщепляющиеся материалы, полагая их бесплатными и неограниченными, но и другие расходуемые ресурсы. Рассматривать в качестве критерия максимальное количество разрушенных объектов при заданной совокупности конкретных расходуемых ресурсов также будет неверно, если на практике те или иные виды ресурсов могут быть легко доступны. Мы не будем здесь больше останавливаться на ошибках этого типа, поскольку к ним еще вернемся.

Недооценка длительности операций. При выборе тех или иных курсов действий, направленных на сдерживание противника, важным фактором в определении цели действий, а следовательно, и критерия выбора служит время. Как могут меняться рекомендации, если рассматривать различные периоды времени? Если критерием являются минимальные расходы на поддержание заданной боевой способности системы на ближайший период, то предпочтительной может оказаться модификация существующих систем; для более отдаленного периода правильнее, по-видимому, будет создание новых систем.

Рассмотрим проблему выбора на более низком уровне. Предположим, что различные способы хранения авиационного топлива сравниваются по критерию минимальных расходов, необходимых для поддержания топлива в определенном состоянии (например, содержание смолистых веществ в одном литре не должно превышать *x* миллиграммов). При таком сравнении время является существенным фактором. Если мы хотим получить полезные во всех отношениях результаты, то должны задать вопрос: с какого времени и в течение какого срока будет происходить хранение? В некоторых проблемах время может быть самой важной составной частью критерия. Ресурсы могут считаться заданными, и вся задача также может быть определена во всех отношениях, за исключением срока начала работы системы. Если такое ограничение имеет смысл, то в качестве критерия следует принять возможность падения поставленной задачи в наикратчайший срок. В любом случае, рассматриваются ли цели или затраты, мы не можем позволить себе при выборе критерия не учитывать длительность операций.

Использование «переопределенных» критериев. Говорят, что анализ системы позволяет получить «максимальную ударную мощь за самую малую цену». Рассмотрим критерий, неявно содержащийся в следующем утверждении: «своими победами немцы… были обязаны военной доктрине, согласно которой следовало наносить неожиданные по направлению, времени и образу действий удары; этим ударам должны были предшествовать всевозможные отвлекающие маневры, а достигнутый успех немедленно закреплялся на участках наименьшего сопротивления и на возможно большую глубину[19]».

Такие критерии являются «переопределенными» в том смысле, что все описанное, по-видимому, не может быть сделано одновременно; это все равно, как если бы захотели купить максимальное количество аспирина при минимальных затратах на него. Ошибки такого типа не особенно серьезны, так как на деле использовать подобные критерии для получения количественных оценок невозможно. Тем не менее не следует пренебрежительно относиться к этому неправильному подходу, поскольку он может привести к выбору неверных критериев.

Неправильное применение «правильных» критериев. Критерий, пригодный для сравнения альтернативных вариантов одного вида действий, может оказаться непригодным при анализе действий другого типа. Поэтому критерий, использованный при анализе одной проблемы, не следует *механически* переносить на другую проблему. Предположим, например, что мы сравниваем

[19] Имеется в виду, что достижение цели может быть охарактеризовано некоторой величиной. *(Прим. ред.).*

боевые возможности существующих стратегических систем оружия и затраты, необходимые для их закупки и содержания. Тогда в качестве критерия можно выбрать минимум затрат, необходимых для достижения определенного результата их применения. Предположим теперь, что мы рассматриваем проблему выбора не с точки зрения *приобретения и использования* существующих альтернативных систем, а с точки зрения *разработки следующего поколения этих систем.* Другими словами, мы не задаемся вопросом, какое вооружение следует приобретать и вводить в действие, а спрашиваем, какое вооружение следует развивать дальше. Отвечая на последний вопрос, мы не можем формально применять критерий, который мы использовали, рассматривая проблему приобретения, так как затраты на приобретение и использование вооружения и затраты на их дальнейшее совершенствование отнюдь не одно и то же. Выгоды от приобретения и использования альтернативных систем и соответствующие затраты указывают па *потенциальные* выгоды от успешного совершенствования каждой из них. Эти оценки дают нам информацию о потенциальных возможностях альтернативных систем оружия при их *успешном* совершенствовании.

Оценки затрат, непосредственно связанные с решениями разработки,— это затраты на следующий этап разработки оружия, т.е. они не включают затраты на приобретения и эксплуатацию.

Отметим также, что критерий, используемый при сравнении альтернативных решений проблемы приобретения, ничего не говорит о наилучшем подходе к разработке системы оружия.

Возможны следующие варианты действий:

а) разрабатывать оружие как систему с точно заданными требованиями;

б) подойти к этой системе оружия постепенно, испытав предварительно основные ее элементы, проверив затем общую компоновку и исследовав множество макетов.

Выбор последовательности действий при разработке системы — это проблема, в принципе отличная от задачи выбора того или иного варианта оружия для его разработки и последующей закупки.

Повторяем: задача определения наиболее экономичной системы для поддержания определенной боевой способности в равной мере связана как с проблемой разработки, так и с проблемой приобретения системы оружия, но цель анализа в обоих случаях будет различной.

Критерий, пригодный для решения проблемы приобретения системы, не может быть удовлетворительным критерием при выборе предпочтительного направления разработки этой системы.

5.4. Что можно сделать?

Что можно сделать, чтобы не позволить неправильно избранным критериям сбить нас с толку? Наиболее общий совет сводится к «осторожности». Но можно дать и несколько более конкретных советов. Во-первых, следует остерегаться бессодержательных критериев и явных ошибок, рассмотренных выше. Во-вторых, нужно тщательно исследовать критерии в каждом конкретном случае анализа, т.е. оценить связь между избранными критериями и критериями на следующих уровнях. Мы не можем избрать верные критерии, пользуясь только интуицией. Мы должны постоянно спрашивать себя, совместим ли данный критерий с критериями на высших уровнях, и учитывает ли он основные воздействия на другие операции. Такое исследование следует проводить в каждом конкретном случае. Мы не можем анализировать альтернативные критерии

вообще и не можем составить стандартный набор приемлемых критериев. Каждая проблема будет иметь свой наилучший критерий.

В-третьих, мы можем сравнивать системы по нескольким критериям и избрать систему, предпочтительную по отношению к этим критериям. Предположим, что при рассмотрении вариантов действий в стратегии сдерживания используется несколько критериев: минимальные расходы на достижение заданной боевой способности по отношению к двум различным типам объектов или к двум различным стратегиям противника. Если какая-либо система будет наилучшей по всем критериям, она будет оптимальной.

В-четвертых, всегда, когда это возможно, можно пользоваться усилительным доводом: если система является наилучшей при некоторых обстоятельствах, то она тем более будет наилучшей при других, еще более благоприятных обстоятельствах. Так, если установлено, что авиационная система эффективнее ракетного оружия при действиях против не защищенных от ядерного взрыва целей, то следует считать, что большая точность самолетной системы позволит ей быть эффективной при действиях против целей, защищенных от ядерного взрыва.

В-пятых, интерпретируя результаты анализа, делая выводы и составляя рекомендации, мы можем иногда согласиться с несовершенством критерия. Так, в результате исследования систем нападения было показано, что одна из них, вероятно, решила бы поставленную задачу при Наименьших затратах, однако в условиях неопределенности она может оказаться наименее благоприятной из рассматриваемых. Наконец, мы можем в некоторых случаях провести «потребительское исследование», отказываясь от четких критериев. Иными словами, мы можем просто сопоставить для наших альтернатив некоторые последствия их реализации — затраты на них и достижимый результат.

Во многих исследованиях предпринимались все или некоторые из описанных действий. Подчеркнутые здесь трудности не обесценивают достоинства анализа. Хотя проблема критерия сложна, признание этой сложности может повредить только неправильно поставленным системным исследованиям и бесспорно повышает достоинства анализа.

6. ЗНАЧЕНИЕ ЗАТРАТ[20]

М. Хоуг

Во многих, если почти не во всех, исследованиях, подпадающих под название анализа систем, приходится в самом широком смысле иметь дело с анализом затрат. Когда для достижения любой точно определенной цели в отдельной операции мы стремимся свести до минимума затраты ресурсов, так как они необходимы для достижения других целей, мы имеем дело с минимизацией истинных стоимостей. Под истинной стоимостью здесь понимается ценность для нас альтернативных целей, от достижения которых мы отказались. Однако если рассматривать проблему не в столь широком плане, то окажется, что анализ затрат имеет неодинаковое значение при исследовании различных типов операций. Иногда истинные стоимости существенны для дела, иногда нет; в тех случаях, когда они существенны, они могут или не могут быть удовлетворительно выражены через денежные стоимости. Чтобы правильно применять анализ с точки зрения расхо-

[20] Эта глава была опубликована в журнале Operations Research, v- 4, № 4, August, 1956, p. 448–459.

дов, важно разбить встречающиеся задачи на несколько различных групп.

6.1. Заданный объем ресурсов при единственной цели

В тех случаях, когда ставится вопрос о достижении максимального результата при заданном объеме ресурсов, которые могут быть использованы только в некоторой вполне конкретной операции, мы можем выделить первую группу проблем, куда анализ с точки зрения расходов не входит совсем. Если ресурсы можно использовать только в одной операции, то для других операций они совершенно бесполезны. Истинная стоимость их использования равна нулю. Поэтому единственный разумный совет, который можно дать, состоит в том, что, анализируя операцию, следует стремиться к оптимальным решениям, невзирая на известную нам информацию о произведенных в прошлом затратах. Нет смысла экономить при использовании конкретных ресурсов только потому, что когда-то они были ценными: что было, то прошло.

То, что в этой первой группе проблем анализ затрат в сущности отсутствует, не означает, что такие проблемы являются простыми или неважными. Во многих заслуживающих внимания проблемах исследования операций, вероятно, встречаются условия, близкие к подобным, хотя, видимо, в очень немногих проблемах они встречаются в чистом виде. Предположим, что ВВС желает выработать тактику, обеспечивающую максимальный ущерб объектам определенного типа при специфических ограничениях на используемое оружие и самолеты. Очевидно, это крайне сложная задача. В ней присутствуют много представляющих интерес взаимосвязанных переменных, и анализ включает в себя много трудных проблем оценки. Однако, чтобы иметь подходящий гипотетический пример для настоящих целей, будем считать, что эта трудная проблема может быть решена.

6.2. Заданный объем ресурсов при нескольких целях

Ко второй группе проблем, встречающихся при исследовании операций, относятся случаи, когда имеются две или больше целей, между которыми нужно распределить заданный объем ресурсов. Рассмотрим, каким образом и почему исследование истинной стоимости входит в эту группу проблем, несмотря на то, что в ней не затрагивается стоимость производства. Предположим, что у нас есть две боевые части ВВС, предназначенные для действий против объектов противника двух разных типов, и что каждая из них стремится довести до максимума свои боевые возможности.

Предположим также, что все наличные ресурсы можно объединить в две группы: расщепляющиеся материалы и самолеты определенного типа.

Допустим, что ресурсы распределены сначала между двумя типами объектов следующим образом: 8 единиц расщепляющихся материалов и 32 самолета для целей первого типа и, наоборот, 32 единицы расщепляющихся материалов и 8 самолетов для второго типа.

Анализируя эту задачу, можно поставить другую проблему, так сказать, проблему высшего уровня. Можно ли попытаться найти лучшее распределение этих двух видов ресурсов, даже если мы не в состоянии установить зависимость между военной мощью, необходимой для подавления одной цели, и мощью, необходимой для подавления другой? Лучшее распределение ресурсов — это, очевидно, такое их распределение, когда мы сможем полнее выполнить одну из поставленных задач без ущерба для другой. Задача анализа состоит в том, чтобы опреде-

лить распределение ресурсов, обеспечивающее минимум истинной стоимости.

При решении этой проблемы следует рассмотреть для каждого типа целей возможные результаты при различных вариантах расходования ресурсов, определить, когда достигается максимально возможный результат. Здесь же мы попросту предположим, что этот трудоемкий анализ проделан, и что возможные зависимости между различными комбинациями расходуемых ресурсов и результатов установлены.

Более того, воспользовавшись возможностью, которую дает гипотетический пример, будем считать, что эти соотношения могут быть удовлетворительно аппроксимированы при помощи простейших функциональных зависимостей. Допустим, что результаты исследования первого типа представлены кривой на рис. 6.1. Эта кривая описывает все варианты расхода двух упомянутых видов ресурсов при условии сохранения боевой мощи, которая была макси-неудовлетворительность первоначального варианта можно показать, исследовав его изменения.

Нетрудно определить общее направление целесообразных изменений. Для целей первого типа расщепляющиеся материалы настолько дефицитны, что обменный эквивалент одной единицы этих материалов равен четырем самолетам. Для целей же второго типа расщепляющиеся материалы имеются в изобилии, и при обмене одна их единица оценивается в одну четвертую часть самолета. Из-за большого несоответствия между обменными эквивалентами одной и той же единицы при различных ее применениях существует возможность более выгодного обмена ресурсами. Предположим, например, что происходит такой обмен ресурсами

Расщепляющиеся материалы для целей Второго типа

35 30 25 20 15 W 5

О 5 Ю 15 20 25 30 35

Расщепляющиеся материалы для целей первого типа

между двумя боевыми подразделениями, когда каждое из них отдает одну единицу менее ценного для него ресурса и получает взамен одну единицу более ценного ресурса, так что обмен происходит в отношении 1:1. Каждое подразделение заметно выигрывает от такой сделки. В первый раз приобретаемые ресурсы в четыре раза ценнее обменных. Поскольку обмен является выгодным для обеих сторон, каждая из них стремится продолжить его. Но взаимный выигрыш от обмена, разумеется, не будет беспредельным, поскольку можно ожидать, что обменный эквивалент одного расходуемого фактора будет уменьшаться в ходе обмена. Точкой, где будет достигнут предел, является, например, P_3 на рис. 6.2. В этой точке каждому подразделению принадлежит 20 единиц расщепляющихся материалов и 20 самолетов, и отношение обмена ресурсов упадет до 1: 1 в соответствии с отношением их стоимостей в данный момент. Здесь возможности замены менее ценного ресурса более ценным исчезают. Но при переходе из *P*[21] в *Рз* боевая мощь обоих подразделений заметно возрастает. На рис. 6.2 имеются и другие точки, в которых отношение обмена ресурсами равно 1 : 1. Такие точки определяют совокупность эффективных вариантов распределения ресурсов для проблемы, представленной на рис. 6.2 пунктирной линией. Эта совокупность обладает тем свойством, что увеличение боеспособности в одной операции не может быть достигнуто без ущерба для боеспособности в другой операции. Следовательно, очень важно, чтобы распределение ресурсов между конкурирующими операциями соответствовало од-

[21] S. W a l d r o n and J. S t e i n h a r d t, Comments on "Evaluating the Adequacy of Airport Parking Lots", Operations Research, v. 4, № 1, February, 1956, p. 122–123.

ной из эффективных точек, а исследователь обязан установить, где находятся такие точки. Когда он сделает это, он тем самым установит необходимые условия минимизации истинных стоимостей, указывающих, за счет какого ущерба для выполнения одной из задач можно добиться выполнения другой, точно определенной задачи.

Исследователь, работающий с проблемами второго типа, должен выявить меру оценки ценности замены одного из видов ресурсов по отношению к другому; эти данные могут совпасть, хотя, вероятно, не совпадут с ценами на приобретение ресурсов в прошлом. Совпадут они, по-видимому, только если предыдущее планирование было оптимальным или хотя бы успешным. Между прочим, меру ценности дефицитного вида ресурсов можно получить как сопутствующий результат в процессе динамического программирования в виде так называемых «теневых цен». В процессе анализа следует заботиться о том, чтобы привести в соответствие меры ценности дефицитных ресурсов при их различных применениях. В этом случае исследуемая максимально возможной при их первоначальном размещении; каждая точка на кривой соответствует оптимальной тактике при заданном сочетании ресурсов.

Наклон этой кривой характеризует возможность замены одного из видов ресурсов другим. Наличие большего количества расщепляющихся материалов позволит иметь больше бомб или более мощные бомбы.

В свою очередь, это позволит совершать меньше боевых вылетов, так как большее количество или большая мощность бомб повысит вероятность поражения цели при одном вылете и сделает возможным уменьшение требований к объему необходимых разведывательных данных до и после бомбардировки. Но возможности замены ограничены. Следует ожидать, что такая замена будет становиться тем труднее, чем больше мы стремимся заменять самолеты расщепляющимися материалами. Это явление можно наглядно проиллюстрировать (хотя такой случай совершенно нереален), допустив, что отношение приращений объема расходования ресурсов при замене в некоторой точке равно отношению между объемами ресурсов, соответствующих этой точке. При первоначальном размещении для объектов первого типа (32 самолета и 8 единиц расщепляющихся материалов, точка P_1) отношение приращений при замене составляет 4 самолета к одной единице расщепляющихся материалов. Если же распределение ресурсов характеризуется 32 единицами расщепляющихся материалов и 8 самолетами (точка *PZ),* то отношение приращений при замене составляет 1 самолет к 4 единицам расщепляющихся материалов.

Между точками P_4 и P_2 отношение приращений изменяется в 16 раз.

Во втором случае с целями иного типа естественно ожидать иной функциональной зависимости. Допустим, однако, для простоты, что оба случая описываются одним и тем же соотношением. Следовательно, первоначальной ситуации для второго типа объектов соответствует точка *PZ* на рис. 6.1. Различия в отношениях между ресурсами, используемыми для двух различных целей, могут быть выведены совершенно независимо, и, возможно, что так и не представится случай выяснить, насколько они согласуются друг с другом. Возможно даже, что различия в первоначальных пропорциях между ресурсами происходят из-за того, что проблемы размещения решались различным образом. Можно предположить, что первоначально при распределении ресурсов по целям первого типа стремились максимизировать результат поражения объектов в расчете на одну единицу расщепляющихся материалов, считая, что этот вид ресурсов крайне дефицитный.

Во втором случае, стремясь к сокращению боевых потерь, мы использовали критерий достижения максимального результата в расчете на один самолет. Очевидно, каждый из этих крите-

риев является неполным, так как он сосредоточивает внимание на одном из видов ресурсов, полагая, что истинная стоимость использования ресурсов другого вида равна нулю.

Чтобы убедиться в том, сколь опасными могут быть такие неполные критерии, достаточно рассмотреть оба варианта распределения ресурсов одновременно. Это удобно сделать, повернув рисунок для целей второго типа на 180° и наложив его на рисунок для целей первого типа. В результате получим рис. 6.2, на котором распределение ресурсов для целей первого типа измеряется относительно левой и нижней координатных осей, а их распределение для второго типа — относительно правой и верхней осей. Первоначальное распределение ресурсов для двух боевых частей ВВС представлено теперь общей точкой. Рис. 6.2 — это прямоугольная диаграмма, каждая точка которой соответствует возможному распределению между двумя целями заданного объема ресурсов. Поскольку точки отражают возможные варианты распределения ресурсов, то, очевидно, некоторые из них будут предпочтительнее других.

Эта «операция» включает несколько целей, претендующих на затрату одних и тех же ресурсов. Такую операцию следует рассматривать как единое целое, если соответствующие оценки эффективности выведены из единых для данного анализа соображений.

6.3. Переменный объем затрат ресурсов

Исследуемая проблема может охватывать больший период времени, чем в приведенном выше примере, и согласование рассматриваемых операций может быть произведено в расчете на больший интервал времени. В этом случае мы сталкиваемся с третьей группой проблем, которой и будет посвящено последующее изложение этой главы. В подобных обстоятельствах уже нельзя решать проблемы распределения ресурсов, считая фиксированными их объем и состав. Действительно, приняв такое допущение, мы можем упустить возможность существенного увеличения эффективности их использования за счет изменения их вида и количества. Требование о соответствии обменных эквивалентов различных ресурсов в разных вариантах их использования остается в силе, но его следует рассматривать в более широком смысле. В анализе теперь участвуют стоимость приобретения и в конечном счете стоимость производства. Мы должны задать вопрос: в каком отношении может один вид ресурса заменен другим, не только по возможности их использования, но и по возможности их получения в будущем? Если отношение, в котором один вид ресурса может быть заменен другим по возможности его получения, отличается от отношения, в котором он может быть заменен по возможности его конкретного использования, то существует возможность дальнейшего совершенствования. Ресурсы, расходуемые в операции, являются продуктами производства, и можно обеспечить увеличение объема одного из них (за счет другого), переключая средства с одного вида производства на другое. Итак, следует ли переключить эти средства?

Такое расширение пределов критерия эффективности использования ресурсов может быть достаточно простым только в том случае, если ясно, что ограничения имеют лишь бюджетный характер и рассматриваемые виды ресурсов могут покупаться и продаваться по известным ценам в неограниченном количестве. Если же они могут покупаться на этих условиях, но не продаваться, то критерий является простым только в том случае, когда ресурсы по существу сходны, как в нашем примере из военной деятельности, т.е. когда можно ожидать, что их военное использование сходно. В нашем примере мы получим простое решение, только если сможем покупать и продавать расщепляющиеся материалы и самолеты в отношении, скажем, двух единиц расщепляющихся материалов за один самолет. Если это возможно, то мы можем увеличить способность разрушения объектов или уменьшить полные расходы, покупая меньше самолетов

и больше расщепляющихся материалов.

Теперь следует определить новую совокупность эффективных вариантов распределения ресурсов. Для кривой постоянного результата на рис. 6.1 выгоднее избрать ту точку, в которой отношение при замене самолетов на расщепляющиеся материалы равно 1 : 2 , а не 1 : 1 .

Но, рассматривая наш пример из военной области, мы сталкиваемся с трудной проблемой: какие расходы к кому относятся и как их следует измерять? Вопрос «к кому?» является особенно уместным, так как он затрагивает, по крайней мере, две правительственные организации: ВВС и Комиссию по атомной энергии. Если стоит вопрос об оптимизации деятельности ВВС, ответ, очевидно, состоит в том, что при заданном бюджете ВВС можно обеспечить максимум их военной мощи, используя расщепляющиеся материалы настолько свободно, что созданные запасы этих материалов превзойдут потребности в них (так, что величина дефицита расщепляющихся материалов будет равна нулю). С позиции Соединенных Штатов в целом это, несомненно, плохое решение, так как чрезмерно обильные запасы расщепляющихся материалов могут быть созданы только за счет высоких материальных затрат.

Чтобы получить какой-либо разумный ответ с позиций правительства, следует рассматривать совместную оптимизацию, принимающую во внимание операции Комиссии по атомной энергии и ее существующих и предполагаемых клиентов. Нет нужды говорить, что такая оптимизация представляет собой весьма сложную проблему .

Вопрос в том, чьи расходы следует минимизировать, часто возникает в задачах по исследованию операций. Исследователю, занятому решением ограниченного участка проблемы, следует постоянно помнить об общем объеме расходов или прибылей, распределяющемся между рассматриваемой и другими операциями. Например, при строительстве стоянки автомобилей у аэропорта выбор места стоянки можно, с одной стороны, проводить по признаку максимального чистого дохода, который приносит стоянка, и, с другой стороны, с точки зрения максимального чистого дохода от воздушных перевозок в целом . Если пользоваться первым критерием, то уменьшение дохода из-за того, что несколько человек, не найдя места для своей машины, не попали на самолет, может показаться несущественным. Но это существенный вопрос для авиакомпаний, терпящих серьезные убытки.

Смежная проблема заключается в том, какие именно затраты следует учитывать. Мы предполагаем здесь, что исследователь обладает известной свободой, выбирая или давая совет, какие расходы следует рассматривать, а не просто оперирует тем, что ему предложено. Вернемся к нашему примеру с расщепляющимися материалами. Решая сложную проблему совместной оптимизации, желательно оценить возможности увеличения производства самолетов за счет уменьшения вложений в производство расщепляемых материалов.

Такая оценка дает действительную величину запасов одного из видов ресурсов по отношению к другому. Эту величину можно сравнить с оценками их возможных замен в будущем. Общеизвестно, однако, что переключение производства с одного вида продукции на другой обычно происходит косвенным, а не непосредственным образом и порождает множество побочных эффектов. Высококвалифицированный инженер-химик, освобожденный от работы в Хэнфорде, не может тут же начать работать в качестве специалиста по аэронавтике в Сиеттле. Если для какой-либо проблемы третьего типа исследователь сможет в явном виде выразить последствия переключения производства, связанные с перераспределением вкладываемых средств, и удовлетвори-

тельно оценить их истинные стоимости, то это будет большим достижением.

Если, что очень вероятно, истинные стоимости не могут быть выражены в явном виде, то предоставляется выбор между двумя альтернативами. Можно воспользоваться оценками эффективности, выведенными из соображений, не принимающих во внимание стоимость производства, или же можно предположить, что преимущество расходов над ресурсами включает одинаковые истинные стоимости на различных участках производства, и заменить в анализе истинные стоимости предполагаемыми денежными стоимостями. Ни одна из этих альтернатив не является полностью удовлетворительной, поскольку обе они допускают определенную неточность. Эта неточность, однако, будет, по-видимому, большой в первом случае. Какую смену эффективности примет исследователь? Возможно, он воспользуется оценками, характерными для проблем второго типа, и удовлетворится тем, что установит соответствие между величинами дефицита в рассматриваемых операциях, предполагая, что будущим операциям будут свойственны те же ограничения, что и настоящим. В этом случае анализ затрат не включает стоимости производства. Очевидно, что это ответ неудовлетворительный, так как он, скорее, игнорирует проблемы третьего типа, а не решает их.

Другая возможность состоит в том, чтобы принять меры эффективности, не учитывающие затраты в том широком смысле, в котором здесь используется этот термин. Можно, например, минимизировать количество человеко-часов, необходимых для некоторых будущих операций (впрочем, это далеко не лучший пример). Но если применить такую частичную оценку, то неучитываемые при этом ресурсы неоправданно будут считаться свободными. Каковы, например, затраты на капитальное оборудование, необходимое для уменьшения количества человеко-часов? Более того, такой критерий оценки не позволяет соизмерить должным образом различия в видах ресурсов. Какова, например, стоимость одного человеко-часа высококвалифицированного инженерного труда по сравнению с неквалифицированным трудом? Следует давать оценку расходуемым ресурсам и их относительной важности (весу), а это означает, что мы возвращаемся к исходному пункту и снова вынуждены искать меру для оценок истинных стоимостей.

Вторая альтернатива, заключающаяся в использовании предполагаемых денежных стоимостей в качестве мер истинных стоимостей, имеет в виду, что относительные цены на рынке правильно характеризуют отношения для замены видов продукции в производстве. В защиту такого предположения имеется только один аргумент. Допустим, что предполагаемое отношение цен по видам продукции отличается от их возможных соотношений при замене в производстве. Это обстоятельство сделает одни виды продукции более выгодными, чем другие. В экономике, основанной на конкуренции, обнаружится тенденция выпускать более выгодные виды продукции за счет менее выгодных, и в результате изменение притока различных видов продукции на рынок приведет к соответствию относительных цен продукции с их отношениями при замене в производстве. В идеальном случае такая тенденция к полному соответствию существует. Интенсивность этой тенденции и, следовательно, пригодность сделанного допущения о возможности оценок затрат в долларах решающим образом зависит от общей политики, находящейся вне пределов любого конкретного исследования. Можно только заметить, что принимаемые правительством меры, направленные против монополий, решающим образом влияют на интенсивность этой

тенденции в экономике[22].

6.4. Некоторые частные аспекты проблемы

Одна из основных задач правительственного регулирования состоит в том, чтобы превратить расходы и прибыли, которые без этих мер распределились бы между различными операциями в экономике, в расходы и прибыли, внутренние по отношению к некоторой ячейке производства и накладывающие определенные ограничения на ее деятельность. Например, вводя налог на загрязнение воздуха заводскими трубами, мы хотим возложить ответственность за ущерб на виновников, а это побудит их применять средства защиты от дыма. Такая мера регулирования имеет самое непосредственное отношение к исследованию операций. Чем Лучше выполняется эта задача, тем в большей степени оказывается пригодным использование денежных стоимостей при анализе различных операций. А для того, чтобы лучше выполнить эту задачу, необходимо проведение большого количества исследований. Существует множество ситуаций, в том числе (хотя и не обязательно) на правительственном уровне, в которых для нахождения действительно эффективных операций следовало бы строго учитывать существование и величину распределяющихся расходов и прибылей, однако сделать это не удается.

Можно утверждать, что далеко не всегда удается сравнить важные затраты производства в физических единицах, и замена их денежным выражением — это наиболее приемлемая из имеющихся альтернатив. Это не означает, конечно, что можно бездумно использовать обычные денежные оценки. В ряде случаев могут быть достаточные основания для корректировки оценок стоимостей, ибо выявляются расхождения между установленной ценой в долларах и фактической стоимостью используемых ресурсов.

Предположим, что рассматриваются проекты вложения правительственных средств, скажем, в строительство плотин. Допустим, что используя в своих расчетах в качестве одного из параметров, характеризующих расходы, существующую норму процента на капитал, будет дано заключение о постройке трех мощных плотин. Предположим, однако, что конгресс не выделил полного объема средств, необходимых для таких больших плотин. Тогда одно из возможных решений будет состоять в отказе от строительства одной из них и в решении соорудить две оставшиеся плотины проектных размеров. Но возможно, что более целесообразным будет и другое решение — построить все три плотины, но меньших размеров. Чтобы проверить, какое из этих решений будет лучшим, следует рассчитать объем дефицита капитальных вложений для этой правительственной операции на различных бюджетных уровнях. Это означает, что нам необходимо определить соотношение будущих затрат и прибыли по годам при различных вариантах капиталовложений, но при одинаковом объеме суммарных затрат. Следует принять такой вариант капиталовложений, который при том или ином объеме ассигнований обеспечит максимальную норму прибыли. Капиталовложения, приносящие двадцатипроцентную прибыль в некоторой операции, не следует вкладывать в операции, где они принесут пятипроцентную прибыль только потому, что такая норма процента распространена повсеместно. Распространенная норма процента подходит для частной фирмы, поскольку, делая вложения в рынок или изымая их в соответствии с этой нормой, она может гарантировать определенный характер будущих доходов и выплат. Следовательно, с этой точки зрения анализ капиталовложений для частной фирмы будет проще, чем для правительственной организации. Альтернатива, открытая для частной фирмы, недоступна для правительственной организации, поскольку для последней определяющими являются накладываемые конгрессом ограничения ассигнований, и они должны учитывать характерные особенности этих ограничений.

---

[22] В действительности происходит обратное. Монополии подчиняют себе правительство США, и все так называемые меры против монополий носят пропагандистский характер и эффективного воздействия на экономические процессы оказать не могут. *(Прим. ред.).*

Различные ситуации требуют, конечно, различных решений.

Изучение последовательно меняющихся во времени затрат представляет значительные трудности, как свидетельствует приведенный ранее пример из области военной деятельности. Если мы оценили затраты на расщепляющиеся материалы и самолеты при различных вариантах выбора, для различных периодов времени, то каким образом объединить их, чтобы сделать возможным анализ альтернатив по критерию соотношений эффективности и затрат? Эта проблема является очень острой, потому что срок годности расщепляющихся материалов больше, чем самолетов, и эти материалы вполне могут быть использованы в течение длительного промежутка времени; однако стремиться получить желаемые боевые возможности лишь с учетом одного вида ресурсов и для некоторого определенного периода времени не имеет смысла. Для нашей военной проблемы, нечеткой по самой ее постановке, четкое решение невозможно. Принятый метод подсчета объема затрат исходит из произвольного предположения, что на протяжении n лет ценность одного доллара для нас сохраняется постоянной и равной его ценности в настоящее время, а затем его ценность в году $n + 1$ полагается равной нулю. При таком методе подсчета наш выбор будет зависеть от того, какое значение мы придаем числу n. Этот метод можно усовершенствовать, исключив такой разрыв непрерывности и предположив, что ценность ресурсов уменьшается пропорционально учетной ставке. Чтобы учесть неопределенность в оценке объема будущих расходов, можно ввести более высокие значения учетной ставки, чем принято в обычной практике кредитования, и проверить чувствительность результатов анализа к подобным вариациям. Мы можем и должны проводить в ходе анализа исследование чувствительности результатов к изменениям учетной ставки и других параметров, в достоверности величин которых у нас нет твердой уверенности.

Следует сделать одну общую оговорку. Выше мы рассматривали проблемы выбора только с точки зрения обеспечения эффективности. Очевидно, что все задачи не могут быть сведены только к обеспечению эффективности, поэтому, в частности, мы с самого начала использовали пример, в котором важные исследования эффективности могут быть проведены, несмотря на несоизмеримость различных целей. Даже в случае с промышленной фирмой бывает трудно оценить одну цель по отношению к другим. Управляющие промышленной фирмы могут желать не только высоких денежных прибылей, но и «спокойной жизни». В более общем случае нас может интересовать не только эффективное распределение ресурсов между различными отраслями экономики в целом, но также и «честный пай» в распределении доходов. Мы не можем привести эффективность к общему знаменателю так, чтобы это было справедливо в любом случае.

В настоящей главе мы выделили некоторые проблемы общего характера, возникающие при анализе затрат в ходе исследования операций, и подчеркнули необходимость учета различия между отдельными группами проблем. На практике, конечно, проблема в целом вряд ли будет подпадать под одну из трех установленных категорий. При исследовании типичных проблем следует разумно сочетать некоторые общие ограничения с некоторыми частными ограничениями, свойственными данной проблеме. Исследуя эффективность некоторой операции, можно, например, убедиться в ее неэффективности, не уточняя, невыполнение каких условий (для проблем первого, второго или третьего типа) обусловило бы неэффективность.

Автору очень нравится история об офицере, который получил выговор за то, что приказал использовать в своей части кофе как средство чистки. Вообще говоря, ценность кофе как напитка достаточно велика, чтобы его не использовать как средство чистки, даже если с технической точки зрения такое использование эффективно. Но, должно быть, этому офицеру было выделено так много кофе, что его люди не могли выпить все. Не имея возможности продать кофе, офицер обладал лишь одной альтернативой использования кофе как средства для чистки: выбросить его.

Если так и было на самом деле, то этот офицер получил выговор только за то, что он уважал самые основные принципы минимизации истинных стоимостей, о которых мы говорили выше.

7. АНАЛИЗ И ПОСТРОЕНИЕ КОНФЛИКТНЫХ СИСТЕМ

Альберт Вольштеттер

Предмет этой главы — процесс разработки и постановки задания на исследование систем — одновременно и чрезвычайно важен и чрезвычайно труден, если только мы хотим определить его достаточно точно и дать для него какие-либо жесткие правила. Более того, можно привести множество соображений о том, что это практически невозможно, но, тем не менее, должно быть ясно, что не существует никаких законов, гарантирующих построение эффективной системы, так как анализ систем, или то, что здесь названо построением конфликтной системы, не то же самое, что создание модели или военной игры. Ниже мы скажем несколько слов о различии между ними.

7.1. Анализ систем в сравнении с моделями и проблемы, побуждающие к анализу

Анализ систем представляет собой попытку выявить вопросы, важные при выборе образа действий, и дать на них ответы. Как показал Р. Д. Шпехт , самым полезным средством для получения ответов на эти вопросы часто является математическая модель.

Иногда еще более полезным оказывается использование двух или трех математических моделей. Однако Шпехт указал, что создание таких моделей и работа с ними отнюдь не исчерпывают всего анализа. В действительности постановка полезных вопросов, создание альтернативных систем для сравнения, умелое толкование результатов, полученных при сравнении, и приведение этих результатов в связь с проблемами, вызвавшими исследование, являются в большей степени решающими фазами процесса, чем работа с моделью. Об этом часто бывают склонны забывать, поскольку работа с моделью требует затраты большей части времени, а методы работы легко объяснимы и переносятся с одного исследования на другое.

Тщательное изучение метода Пальмера не поможет дилетанту написать хороший роман, хотя разборчивый почерк, умение печатать на машинке даже одним пальцем, знание грамматики и гладкий слог являются при этом подспорьем. При исследовании систем умение создать количественную модель не только полезно, но и необходимо в тех случаях, когда проблема сложна (в отличие от значения каллиграфии при написании романа). Но этого недостаточно. Исследование систем было бы гораздо проще, если бы оно ограничивалось только созданием модели.

Ч. Хитч указал, что про анализ систем можно сказать все что угодно, но только не то, что он является легким делом[23]. Вы можете вспомнить его рассказ о бесстрашном исследователе, занимавшемся вопросом выбора для начала разработки одного из альтернативных вариантов системы, которому следовало рассмотреть миллион, если не больше альтернатив. В этой связи хотелось бы подчеркнуть, что трудности, упомянутые Ч. Хитчем, происходят главным образом из-за необходимости связывать результаты вычислений с проблемами обороны, побудившими начать исследование. С трудностями такого типа сталкивается Министерство обороны. Десятки тысяч альтернатив встают перед исследователем, когда Министерство обороны США готовит решение о начале

---

[23] Автор благодарит Дж. Ф. Дигби, Дэниэля Эллсберга, Ф. С. Гофмана, Г. Дж. Кана и Э. С. Квейда за помощь в написании этой главы. Выдержки из нее были доложены на второй международной конференции по исследованию операций в Экс-ан-Провансе (Франция) в сентябре 1960 г.

разработки конкретного типа бомбардировщиков или ракет.

Выше говорилось о военных решениях. То же самое, по крайней мере, в равной степени, справедливо для случая анализа решений и соглашений о сокращении или ограничении операций вооруженных сил, т.е. контроля над вооружением. Затруднения, возникающие при принятии решений о контроле над вооружением, столь же велики, что и трудности подготовки более привычных военных решений. Исследование проблем контроля вооружения, прежде всего, должно включать оценку влияния сокращения вооружения на военное положение обеих сторон и соответствие этого влияния политическим и военным целям обеих сторон.

Принято считать, что конференции по контролю над вооружением могут легко найти выход, если только их участники будут честны друг с другом. Честность, безусловно, имеет отношение к делу, но вряд ли ею все и ограничивается. Решения о контроле над вооружением исключительно сложны, даже более сложны, чем решения о вооружении[1]

Указав на сложность проблемы, стоящей перед лицами, ответственными за принятие решений, мы вовсе не хотим сказать, что невозможно принять разумные решения без анализа систем. Совершенно очевидно, что решения часто так и принимались. Большая часть из множества альтернатив может быть без вреда для дела отброшена разумным человеком. С другой стороны, ясно, что в прошлом часто игнорировали очень важные альтернативы. И хотя анализ систем не дает гарантии того, что мы рассмотрим все важные и определяющие альтернативы), ализ систем не заменяет здравый смысл), тем не менее, он дает большую определенность и позволяет более внимательно приглядеться к изучаемым и отброшенным альтернативам.

Недавно происходили многочисленные дискуссии по поводу правительственных проблем выбора «кардинальных» альтернатив, с которыми сталкивается наше общество, т.е. вопросов жизни и смерти; к ним относятся решение о развитии водородной бомбы или о мобилизации ресурсов на программы разработки баллистических ракет и так далее. При таком выборе принимаются во внимание последние достижения техники, наличие вооруженных сил и их возможности, а также большое число политических, военных, экономических и технических факторов, неопределенных по самой своей природе. Некоторые из этих оценок не должны предаваться гласности из-за возможности использования этой информации противником. Все эти решения далеко не безупречны, но недостаток времени, отсутствие специальных знаний и соображения секретности, к сожалению, ограничивают возможности их критики. Впоследствии мы вернемся к вопросу о том, как следует поступать с этими существенными и тесно связанными проблемами сложности, неопределенности и секретности. В действительности для таких проблем не существует окончательного «решения». Они могут быть только облегчены или сделаны несколько более поддающимися управлению. Однако пока следует отметить, что систематический и явный характер анализа систем расширяет возможности критического анализа решений и таким образом уменьшает в соответствующей степени возможность ошибки.

Недовольство, нередко проявляемое по поводу тех или иных допущений, сделанных при анализе систем, часто означает скрытую уверенность в том, что исследования и решения, принятые офицерами высших штабов, свободны от произвольных или нереалистичных допущений. Но значительно реже военных упрекают в том, что их решения не имеют допущений. Недовольство допущениями, часто вполне обоснованное, объясняется во многом тем, что в анализе систем эти допущения выражены в явном виде. Интуитивные суждения, сделанные на основе неформального опыта, также, конечно, предполагают допущения, но их, однако, значительно сложнее выявить. В результате, когда суждения экспертов приходят в противоречие, эти противоречия часто бывает трудно объяснить и примирить. Специальные комитеты, так часто возникавшие

во время и после войны, обычно достигали соглашения, объединяя и приводя к компромиссу подобные заключения экспертов; и иногда допущения, лежащие в основе такого соглашения, были еще более непонятны, чем суждения сдельных экспертов. Однако если ответственный за принятие решения не намерен верить на слово, то он пожелает ознакомиться с допущениями, фактами и ходом рассуждений. Именно в этом анализ систем может способствовать принятию решения.

Исследование операций или системные исследования зонных проблем можно считать количественным научным трудом решения столь трудных проблем. В результате применения такого метода к решениям вопросов национальной обороны до сих пор достигнуты небольшие успехи. Этот метод вообще не применялся к созданию и серьезной оценке межнациональных соглашений о контроле над вооружением.

Имеются, однако, и некоторые знаменательные успехи. Они были, как мы полагаем, особенно велики, когда исследование сосредоточивалось не на разработке крупномасштабных моделей, а на сложных проблемах подготовки подобных решений, на выявлении относящихся к делу и поддающихся решению вопросов и на разработке новых и лучших систем. Математические модели в этом случае являются необходимым, но вспомогательным инструментом.

Подобно интуиции и опыту самые совершенные модели полезны, прежде всего, в неоднократно повторяющихся ситуациях.. Например, линейное программирование оказалось полезным в нефтяной промышленности и на транспорте, где существует четкое понимание технической стороны дела и спроса; в таких отраслях промышленности опытные эксперты сумели найти хорошие решения, но обнаружили, что продвигаться дальше трудно. В этом случае даже относительно небольшой выигрыш, получаемый благодаря точно определенному значению оптимальных капиталовложений, с лихвой окупает усилия, затраченные на определение указанного оптимума. Совершенно иная ситуация наблюдается, если техника и цели меняются очень быстро. Проблема здесь состоит не в том, чтобы точно найти максимум на слабо выпуклой кривой, а в том, чтобы построить совершенно новую кривую. Автору приходилось видеть работы, в которых делалась попытка точно определить наилучший способ выполнения операции, которую не следовало бы проводить вообще.

К сожалению, люди, занимающиеся исследованием операций, иногда страдают болезнью, которую специалист по математической статистике Л. Дж. Сэвидж определил как «страсть к новым методам». Они одержимы страстью к созданию новых методов решения проблем (различные формы математического программирования, громадные модели воздушной войны на ЭВМ, теория массового обслуживания и тому подобное), а затем отыскивают проблемы, к которым эти методы можно было бы применить. Но если мы интересуемся решениями вопросов обороны, то лучше начать как раз с противоположного конца, т.е. с самой проблемы, провести количественный анализ последствий предстоящих технических и политических изменений для разрабатываемых систем и определить предпочтительные альтернативы. Полезные для такого анализа методы оказываются более простыми, но и более продуктивными.

И, наконец, все сказанное выше предполагает, что анализ систем будет особенно полезным, если исследователь возьмет на себя труд тщательно изучить характер и происхождение проблемы, стоящей перед лицами, ответственными за принятие решения, и выявит цели, которых они хотят достичь, препятствия, которые им придется преодолеть для их достижения, и получаемые при

этом выгоды.

7.2. Пример из деятельности ВВС — история межконтинентальных боевых действий

На примере создания самолета В-36 и истории развития требований к межконтинентальным бомбардировочным операциям можно показать три положения: сложность проблемы принятия решения, идентичность в основных чертах этой проблемы с проблемой, стоящей перед исследователем, и полезность изучения исследователем истории возникновения этой проблемы.

Идея создания самолета В-36 возникла в апреле 1941 г., когда в результате капитуляции Франции и ряда понесенных поражений Англия оказалась изолированной, а немецкие позиции в западной Европе упрочились. Он был задуман как гарантия того, что в случае потери Англии американцы смогут, минуя территорию своих потерпевших поражение союзников, нанести определенный ущерб Германии. Майор Ванденберг и небольшая исследовательская группа отдела планирования военно-воздушных сил предполагала создание бомбардировщика с дальностью действия 16 000 *км,* способного нести на борту 4500 *кг* фугасных бомб. Осенью 1941 г. после рассмотрения конкурсных проектов были заказаны два опытных образца самолета.

Очевидно, что в случае с В-36 США успешно разрешили проблемы организации разработки, производства боевого применения самолета при всех тех трудностях, которых упоминал Ч. Хитч, а также и тех, о которых и не говорил. Разрешенные в различные периоды времени вопросы касались выбора баз, целей, крейсерской и максимальной скорости полета, крейсерской высоты и высоты бомбометания, бомбовой нагрузки и калибра бомб, оборонительных и наступательных сил противника, выбора графиков производства В-36 и методики выполнения межконтинентального полета без дозаправки топливом в полете и многого другого. И в каждом случае приходилось, как правило, рассматривать гораздо более четырех альтернатив (четырех значений каждого из параметров). Например, какие базы могут быть потеряны или захвачены американскими вооруженными силами во время войны? Какие базы будут доступны после войны в результате взаимных переговоров? Используем ли мы В-36 против Германии? против Японии? против России?

Работа по созданию В-3б началась до того, как в США появились реактивные двигатели. В окончательном же виде к шести поршневым двигателям В-3б добавились четыре реактивных. И, наконец, возникла перспектива того, что В-36 встретится с реактивными истребителями, тактико-технические характеристики которых его создатели едва ли могли предвидеть. Самое же поразительное, по-видимому, заключается в том, что, как стало известно из показаний генерала Смита , никто из людей, занимавшихся созданием В-36, не был осведомлен о параллельно проводившейся работе по созданию атомной бомбы; они узнали об этом, только прочитав в газетах сообщение

О бомбардировке Хиросимы.

Пока два опытных образца находились в производстве, ситуация коренным образом изменилась. Образцы не были изготовлены к лету 1943 г., а к тому времени стало ясно, что Англия не потерпит поражения. Однако теперь США находились в состоянии войны с Японией. Хотя американцы захватили Гвадалканал, окончательный итог боев на островах оставался неясным. Теперь В-36 рассматривали уже как средство борьбы на этом театре военных действий. Чтобы ускорить процесс разработки, организации производства и ввода в строй бомбардировщиков еще до

изготовления опытных образцов, была заказана серия из 100 самолетов B-36. К этому времени относились также затруднения с самолетом B-29 и предполагалось, что B-36 компенсирует возможные неудачи с B-29.

Однако боевые действия на островах завершились успешно. С самолетом B-29 дело пошло гладко, а в связи с нехваткой алюминия программа создания B-36 была растянута на более длительный срок. После победы в Европе стало ясно, что самолету B-36 не суждено сыграть свою роль во второй мировой войне. Однако руководство ВВС считало, что следует иметь в виду возможность третьей мировой войны, и в этой связи возникала серьезная проблема расстояний между нашими базами и объектами противника. Какими базами можно будет располагать в следующей войне и как долго удастся удержать их в своих руках в мирное и военное время? Теперь, когда США закрепили за собой военные права в очень многих странах, известно, что такие переговоры ведутся долго, и их исход бывает неясен. Поэтому генерал Ванденберг рекомендовал закупку самолетов B-36 для того, чтобы застраховаться от возможного неуспеха переговоров мирного времени и как альтернативу в случае потери баз в войне.

Мы подошли к послевоенному периоду. В это время полностью господствовало представление о B-36 как о самолете, несущем на борту фугасные бомбы, со всеми ограничениями, которые это накладывает на эффективность при больших радиусах действия. Хиросима полностью изменила взгляды на межконтинентальные стратегические бомбардировки, которые ранее могли рассматриваться лишь как крайнее средство, находящееся на грани безрассудного.

Теперь казалось, что, если удастся запустить B-36 в производство, США получат падежное средство, которое обеспечит опустошительную бомбардировку противника, если в этом возникнет необходимость. Ряд послевоенных кризисов подтверждал, что такая необходимость может в самом деле возникнуть.

В начале этого периода создатели B-36 натолкнулись на новые трудности. Возникли, например, проблемы, связанные с тактико-техническими характеристиками, необходимыми для выполнения боевых задач при намеченной вначале дальности полета; были предложены различные модификации, учитывающие прогресс техники, который трудно было заранее предвидеть. В конце 1947 г. стали благожелательно рассматриваться другие средства межконтинентальных боевых действий. В частности, комитет по тяжелым бомбардировщикам при Штабе ВВС рекомендовал ввести их дозаправку топливом в полете. Это позволяло увеличить радиус действия системы, состоящей из бомбардировщиков и заправщиков. При состоянии техники того времени даже бомбардировщики и заправщики ближнего действия могли достичь больших скоростей и других требуемых летно-тактических данных. Необходимость повышения летно-тактических данных бомбардировщиков при прорыве зоны ПВО противника вызывалась совершенствованием реактивных истребителей.

К тому времени возникли хорошо известные разногласия по вопросу о B-36 между видами вооруженных сил[24], к которым добавились расхождения во мнениях внутри ВВС. Разногласия касались главным образом вопросов относительной важности радиуса действия, высоты, скорости и веса бомбардировщиков B-29 и B-36. Внутри ВВС были сторонники как самолета B-29, так и B-36. Первые подчеркивали превосходство в скорости B-29, последние — большую дальность действия B-36. Противоречия между видами вооруженных сил касались вопросов о возможных потерях бомбардировщиков в результате действий обороны противника, об объектах, подлежа-

[24] Hearings on the B-36, Armed Services Committee, House of Representatives. The National Defense Program-Unification and Strategy, 81st Congress, 1st Session, Washington, D.C., October, 1949.

щих бомбардировке, и о влиянии таких бомбардировок на ход войны в Европе.

Роль стратегических бомбардировок понималась в то время совсем не так, как мы ее понимаем сегодня. Это было естественное распространение задач и функций стратегических бомбардировщиков во второй мировой войне. Их основной задачей в этой войне было: 1) прорвать оборону противника и выйти к цели и 2) разрушить ее. Величина допустимых потерь при достижении бомбардировщиками цели и возвращении на базы определялась в зависимости от степени ущерба, который мог быть причинен объектам противника[25]. После войны развитие навигационно-бомбардировочных систем и в еще большей степени чрезвычайно возросшая эффективность обороны, основой которой стали реактивные перехватчики и ракеты класса «земля — воздух», преобразили первую проблему для бомбардировщиков. Эффект в чистом виде состоял в том, что стало труднее выйти к цели и вернуться обратно. С другой стороны, ядерное оружие значительно увеличило возможную степень нанесения ущерба противнику и таким образом полностью изменило вторую проблему. США обладали в этот период времени лишь весьма ограниченным запасом атомных бомб и полагали, что такое положение продлится еще некоторое время. Считали, что у противника нет такого оружия и что он может вести бомбардировки Соединенных Штатов и их баз только с помощью обычных бомб. В этих условиях атомное нападение на важнейшие промышленные и административные центры противника с помощью B-36 могло бы служить не только средством возмездия за нападение на основных союзников США или средством устрашения, но и средством защиты американского и союзного военного потенциала от истощения сил при ведении военных действий с использованием обычных бомб, на что мог бы возлагать надежды противник. Ядерное оружие, как мы увидим далее, вызвало появление новых проблем стратегических бомбардировочных операций, выходящих за рамки задач, которые стояли перед бомбардировщиком до начала и в ходе второй мировой войны. Именно новизна затрудняла выявление новых проблем, и им не уделяли достаточного внимания в начале послевоенного периода.

Из всего изложенного очевидно одно: скорость, дальность и высота полета, бомбовая нагрузка и многое другое являются очень важными тактико-техническими характеристиками самолета. Однако добиваясь при данном уровне развития техники максимума в одном отношении, приходится жертвовать какими-то другими характеристиками самолета. К сожалению, невозможно достичь лучшего во всех отношениях и приходится искать компромиссные решения. Но каким должно быть это решение? Каким образом скорость и высота полета связаны с возможной величиной боевых потерь? Каким образом повлияет дальность действия на нашу зависимость от союзников? Или возьмем вопрос, исключительная важность которого постепенно выяснилась в течение пятидесятых годов: каким образом дальность полета и другие тактико-технические характеристики самолетов повлияют на размещение авиабаз или боеготовность и вероятность поражения самолетов на аэродромах? Если в долгой истории самолетов B-36, которые входили в состав стратегических сил до 1956 г., не были получены четкие ответы на эти вопросы, то это обстоятельство вряд ли стоит ставить в упрек участникам дискуссии. Из настоящих очерков по анализу систем станет очевидным, что по крайней мере некоторые стороны этих вопросов неяс-

---

[25] Рекомендуем читателю книгу History of the Strategic Air Offensive Against Germany by Sir Charles Webster and Noble Frankland (4 vols., Her Majesty's Stationery Office, London, 1961). Авторы группируют возникающие проблемы несколько по-иному, но приходят, в общем, к тем же выводам (см. vol. I, Preparation, p. 17–18). «Оперативно-тактические требования к стратегическим бомбардировкам легко сформулировать, но трудно выполнить. Во-первых, самолеты должны обладать способностью выйти к намеченным объектам, которые определяются дальностью действия, возможностями преодоления обороны и навигацией. Во-вторых, они должны обладать способностью нанести эффективный удар по этим объектам, что определяется количеством и качеством бомб и точностью бомбометания. В-третьих, они должны вернуться на базы без потерь, превышающих приемлемые». Далее авторы объясняют, что величина приемлемых потерь зависит от степени разрушения объектов. Допустимые потери могут быть вызваны естественными помехами {территория, погода и т.д.) и искусственными. Под последними понимаются оборонительные силы противника. «Искусственные помехи представляют собой средства обороны противника (истребители, зенитные орудия, прожекторы) и средства противодействия (например, радиопомехи, ложные радиосигналы и визуальные сигналы, ложные сигналы для бомбардировки, ложные цели и т. д.)».

ны и до сих пор, и нелегко сказать, где следует искать ответы на них.

Некоторые уроки. Мы не собираемся здесь ставить вопрос о том, принимались ли всегда верные (или иногда ошибочные) решения в ходе этой длинной истории. Такой вопрос, по-видимому, полезен только для того, чтобы воспрепятствовать чрезмерным претензиям. Теперь легко, конечно, быть умным. Многие решения, как мы полагаем, были совершенно правильными для того времени, хотя, возможно, их справедливость трудно обосновать при ретроспективном анализе; справедливость других решений была, по крайней мере, сомнительной.

Тем не менее, можно извлечь некоторые уроки. Первый урок заключается в том, что участь лиц, ответственных за принятие военных решений, нелегка. История разработки, производства и ввода в строй B-36 наглядно иллюстрирует процесс выбора между огромным количеством неопределенных альтернатив. Базы, цели, дальность, скорость и высота полета, оборонительные и наступательные силы противника — все это следует учесть в анализе системы, и каждая из этих составных частей проблемы в настоящем и будущем может иметь столько же значений, сколько предположил Ч. Хитч. Представьте себе изменения, происшедшие в характере бомбовой нагрузки со времени создания обычных бомб до создания атомных бомб Хиросимы и современных мегатонных водородных бомб, или изменения средств ПВО противника от винтовых истребителей до реактивных самолетов и ракет класса «земля-воздух».

Второй урок следующий. Сама цель решений ВВС далеко не проста; в случае с B-36 перед ВВС стояла не одна, а много задач, которые коренным образом менялись по мере изменения политической, стратегической и технической ситуации.

Третий урок также касается целей. Очевидно, различные типы летательных аппаратов, например B-29 и B-36, могут служить частично разным (так же как и частично одинаковым) целям. Но как в таком случае сравнивать их?

Четвертый урок, который можно извлечь из этой истории, состоит в том, что, хотя выбор между очень хорошими или во всяком случае желательными альтернативами труден, он также и необходим. Цели вступают в конфликт. Невозможно одновременно достигнуть прогресса в дальности действия, скорости и высоте полета и во всем прочем. Каким образом мы будем выбирать ту или иную конкретную комбинацию, рекомендуя летно-тактические характеристики стратегическому авиационному командованию? И каким образом провести такой анализ системы, чтобы он мог дать ответ на подобные вопросы, не пользуясь уже известными решениями?

Пятый урок заключается в том, что описанная история бомбардировщика B-36 наглядно показывает роль целей, связанных с предупреждением от возможных потерь, и соответственно роль межконтинентальных бомбардировочных операций. Этот самолет был задуман как средство гарантии, а проблема гарантии на случай неопределенных обстоятельств всегда остается. Подобная проблема должна порождать планы, учитывающие различные события, которые могут и не произойти, могут быть маловероятными. Но в большинстве проработок вопроса и исследований систем эта проблема не принималась во внимание. Каким образом вести исследование, чтобы разрешить ее? И каким образом мы сможем разработать систему, предусматривающую возможность таких гарантий?

Мы подчеркивали, что системные исследования военных проблем представляют не больше трудностей, чем принятие ответственных военных решений. Но в некотором смысле они не легче. В начале и конце такого анализа стоят военные цели или, лучше сказать, политические цели, достижению которых служат военные средства. Однако в процессе анализа эти цели поч-

ти наверняка будут скорректированы или, что вполне вероятно, коренным образом изменены. Мы рассмотрим далее, также на примере деятельности ВВС, каким образом такие цели влияют на процесс разработки новой техники.

7.3. Цели и ограничения системных исследований

В ходе разработок новой техники, например самолетов-истребителей или бомбардировщиков, ВВС США выпускали ряд документов планирования, известных по названиям «Цели планирования разработок», «Общие оперативные требования» и другие».

Эти и связанные с ними документы были с тех пор заменены другими, которые, хотя выполняют во многом те же функции, но построены несколько по-иному. Гипотетические «Общие оперативные требования» к бомбардировщику с двигателями, работающими на химическом топливе, можно сформулировать в следующем виде: он должен пролететь 8000 *км* и вернуться на базу без дозаправки; из этих 8000 *км* он должен пролететь 2000 *км* при числе Маха 2,5; он должен нести запас бомб определенных размеров и веса и вести бомбардировку со средней ошибкой меньше, скажем, 450 ж; высота, на которой производятся вторжение и бомбардировка, должна быть больше определенного минимума. Общие оперативные требования для бомбардировщика с ядерным двигателем помимо определенной комбинации требований к летным данным могут включать требование, чтобы доза облучения, которую принимает экипаж, не превышала 0,2 рентгена в час. Аналогичным образом ВВС ставит задачи строительства авиабаз. Например, проектировщикам авиабаз на территории Соединенных Штатов ранее ставилась задача сокращения затрат на строительство вспомогательных сооружений базы — дорожную сеть, систему водоснабжения, дренажную систему и прочее — за счет сокращения расстояний между наземными сооружениями

Для подрядчика такая постановка задач накладывает ограничения, в пределах которых он должен вести работу. Тогда конструктор самолета может разработать, исходя из того, что ему известно об уровне развития техники, наилучшую систему управления оружием самолета или оптимальную конфигурацию его крыльев и фюзеляжа, позволяющую разместить заданную боевую нагрузку при минимальном весе самолета и минимальных расходах. Если речь идет о строительстве баз, то подрядчик должен найти наилучшую конфигурацию взлетно-посадочных полос, мест стоянки и зданий, чтобы свести до минимума строительные расходы при заданном месте расположения.

Если мы обозначим цели, которые ставят ВВС, через $О_г$, а средства, используемые подрядчиком для достижения этих целей, через $М_ь$ то можно описать эту ситуацию следующим обр азом:

$$M_{i} \rightarrow O_{i} \qquad (1)$$

Внутри организации подрядчика при дальнейшей детальной разработке цели M_i обычно предстают в виде ограничений или задач, решением которых занимается некоторая часть этой организации; эти задачи, очевидно, будут целями более низкого уровня, чем $O_{i;}$. Мы можем обозначить их через O_{i-1} и переписать формулу (1) в виде

$$O_{i-1} \blacksquare O_i \qquad (2)$$

Наш процесс разделения труда может быть с пользой продолжен, и формулу (2) можно запи-

сать так:

$$\ldots O_{i-2} \boxtimes O_{i-1} \boxtimes O_i \qquad (3)$$

Например, для выполнения определенной части проекта самолета-перехватчика может быть создана большая группа, работающая над системой управления огнем. Эти группы можно разделить на отдельные бригады, работающие над бортовой радиолокационной станцией, над аналоговым вычислительным устройством, над системами вооружения; все эти системы являются составными частями системы управления огнем.

Целью работы бригады может быть разработка бортовой радиолокационной станции с углом обзора 70° в каждую сторону от продольной оси самолета, и бригада будет работать в пределах этого ограничения. Следует указать, что точно так же, как мы произвели расширение нашей формулы влево от 0_i, показав, что «средства» для достижения целей, поставленных ВВС, могут предстать в виде более узких целей, мы можем, а в некоторых случаях даже должны расширить ее вправо и посмотреть, каким дальнейшим целям служат требования, предъявляемые военно-воздушными силами:

$$\ldots O_{i-2} \boxtimes O_{i-1} \boxtimes O_i \boxtimes O_{i+1} \boxtimes O_{i+2} \boxtimes \ldots \qquad (4)$$

Продолжим наш пример с системой управления огнем перехватчика. Мы можем рассмотреть последовательность все более и более широких систем: бортовая радиолокационная станция, система управления огнем, перехватчик, подразделение перехватчиков с приданной ему наземной радиолокационной станцией, наступательно-оборонительное соединение, состоящее из подразделения перехватчиков, наземной радиолокационной сети и подразделений прикрываемых бомбардировщиков, и т.д. Эти системы показаны на рис. 7.1 и 7.2.

Хотя более узкие системы можно рассматривать и в большинстве случаев должно рассматривать как относительно изолированные, эта изоляция является лишь относительной и никогда не бывает полной. Всегда остается возможность существования некоторой важной связи между ними, которая повлияет на разработку системы на других уровнях. Например, может оказаться, что создание радиолокационной станции с углом обзора 70° по обе стороны от оси самолета затруднительно, но, построив, перехватчик с меньшим радиусом разворота, мы сможем сузить этот угол обзора. Или при переходе к системе более высокого уровня может оказаться, что выгоднее ослабить эти ограничения, но увеличить точность обработки данных на земле и тем самым увеличить вероятность поражения цели системой, состоящей из перехватчика и наземной радиолокационной станции.

Более широкий анализ проблемы обороны крыла стратегических бомбардировщиков может привести к решениям, в которых перехватчики вовсе не будут участвовать.

Например, может оказаться, что с этой задачей лучше всего справятся ракеты ПВО. Возможно, будет рекомендован тот или иной вид или виды пассивной обороны, например рассредоточение, или укрытия, или оповещение, позволяющее отлет самолетов по сигналу тревоги. Обратимся к примеру, к которому нам еще придется вернуться: может быть рассмотрен такой тип операций, при котором самолеты как можно меньше находятся на базе и в мирное время, и после начала военных действий. Этот случай можно проиллюстрировать, сославшись на практику использования иностранных баз в основном для дозаправки, а в самих Соединенных Штатах — на патрулирование тяжелых бомбардировщиков или некоторой части сил тяжелых бомбардировщиков. В каждом пункте такого анализа необходимы некоторые специфические ограничения, но ни

одно из них нельзя рассматривать как окончательное, а ослабление ограничений полностью изменяет проблему.

История B-36 показывает, что никакая комбинация из требований, предъявляемых к боевому радиусу действия, числу Маха и тому подобное, не может рассматриваться как окончательная. При создании B-36 осуществлялся выбор между альтернативными комбинациями скорости, высоты, радиуса действия и так далее, и одни из характеристик неизбежно приносились в ущерб другим. Является ли такой выбор хорошим или нет, зависит от комплекса переменных, значения которых неопределенны, взаимодействие их начинает выясняться в процессе разработки и создания, и вид их может меняться со временем.

Требование о том, чтобы сооружения базы были сосредоточены (с целью свести до минимума затраты на вспомогательные средства), разумно лишь до тех пор, пока не существует серьезной возможности бомбардировки этой базы противником. До конца пятидесятых годов при проектировании заморских баз предусматривалась только защита их от фугасных бомб, а при проектировании баз в Соединенных Штатах такая защита не предусматривалась вовсе. Даже первые базы межконтинентальных ракет, которые стали частью наших стратегических сил, в начале шестидесятых годов не были защищены от воздействия ядерного оружия. Но военная мощь противника в прошлом и особенно возможности ее роста в будущем постепенно привели к пониманию того, что следует избирать иное сочетание эксплуатационных удобств, расходов на вспомогательные средства и живучести авиабаз[26]. Таким образом, была произведена переоценка требований к проектированию баз. В начале шестидесятых годов вступили в строй защищенные от воздействия ядерного оружия базы для ракет «Атлас», а затем ракет «Титан» и «Минитмен».

Меняющиеся обстоятельства превращают верный в свое время выбор в устарелый, и в каждый момент времени такой выбор является исключительно сложным актом. Это можно показать на уже упоминавшемся выше примере выбора предельных доз облучения для членов экипажа бомбардировщика с ядерными двигателями. Вопрос о предельных дозах облучения был центральным в соответствующей программе. Для уменьшения доз облучения необходимо было увеличить мощность защитного экрана. Но, добавив этот мертвый вес к самолету, пришлось бы намного увеличить его полетный вес. Первоначально на выборе норм облучения сказалось предположение о том, что бомбардировщики с ядерными двигателями в мирное время будут часто использоваться для обучения экипажей, подобно тому, как используются бомбардировщики с двигателями на обычном топливе. Но если экипаж должен совершать частые учебные полеты в мирное время, то часовая доза облучения, получаемая каждым членом экипажа, должна быть крайне мала, чтобы суммарная доза облучения оставалась в допустимых пределах.

Выполняя требования о малых дозах облучения и большой толщине защитных экранов, мы должны будем пожертвовать другими тесно связанными характеристиками, например размерами реактора, получаемой мощностью, температурами на входе турбины и максимальной скоростью при прорыве обороны противника. Частые полеты самолетов с ядерными двигателями в мирное время потребуют значительного увеличения затрат не только за счет удорожания конструкции самолета для предохранения его экипажа от облучения, но и на строительство и эксплуатацию баз, позволяющих обеспечить безопасность наземных подразделений. Учебные полеты в мирное время, очевидно, очень полезны, в то же время они требуют больших расходов.

Позже в ходе работ по этой программе появились новые соображения, касающиеся тактики прорыва зоны ПВО противника и необходимых для того высоких тактико-технических характери-

[26] См. A. I. Wohlstetter, F. S. Hoffman, R. J. Lutz and H. S. Rowen, Selection and Use of Strategic Air Bases, The RAND Corporation, R-266, April 1954, p. 7. См. также гл. 3 настоящей книги.

стик самолета с ядерными двигателями и проблемы защиты самолета с ядерными двигателями от нападения бомбардировщиков противника. Было выдвинуто несколько смелых идей, позволяющих решить проблему прорыва при менее строгих требованиях к ядерной энергетической установке. Большие технические трудности, проявляющиеся при достижении предельных температур реактора при выходе из сверхзвуковой скорости полета, заставили заново продумать, что именно для того «требуется».

Одно из новых предложений состояло в том, чтобы добавить несколько двигателей, работающих на химическом топливе, для увеличения скорости прорыва через зону боевых действий. Оказалось также, что значительная часть учебных полетов может быть проделана с двигателями, работающими на обычном топливе, что разрешало некоторые проблемы учебных полетов. Другое предложение частично служило тем же целям; оно состояло в том, чтобы использовать самолет с ядерными двигателями не как бомбардировщик, а как буксировщик пилотируемого бомбардировщика через зону боевых действий. Предлагалось также использовать самолет с ядерными двигателями в качестве платформы для запуска ракет дальнего действия класса «воздух-земля» за пределами зоны боевых действий. Подобные идеи операции могли уменьшить требования к взаимозависимым характеристикам.

Работа над другой проблемой защиты от нападения бомбардировщиков противника шла в ином направлении. Самолеты с ядерными двигателями и с дорогим и громоздким дистанционно управляемым оборудованием были плохо приспособлены к вылету по тревоге. С другой стороны, в связи с тем, что продолжительность их полета могла быть очень большой, они идеально подходили для воздушного патрулирования. Но это означало, что их полеты в мирное время будут еще более частыми и дорогостоящими, чем первоначально планировалось, и, таким образом, вновь возникали проблемы, связанные с дозами облучения, установкой экранов и очень большими расходами, которые для самолетов с ядерными двигателями прямо пропорциональны времени полета.

Таким образом, требования к самолету менялись и должны были меняться многократно частично из-за трудностей, встретившихся при попытках удовлетворить первоначальному заданию, и частично вследствие того, что изменилась сама проблема стратегической бомбардировки, т.е. изменились цели, которым должны были служить те или иные средства.

В то время как подрядчик Министерства обороны вынужден считать установленный правительством перечень требований окончательным, лицо, принимающее решения, и помогающий ему исследователь должны постоянно спрашивать себя, действительно ли эти требования соответствуют поставленной задаче. Встретившиеся трудности могут вызвать скептическое отношение к начальным целям: средства могут оказаться слишком сложными или слишком дорогими, а изменение содержания или уточнение более отдаленных целей могут сделать первоначальные цели сомнительными. «Требования» не падают с небес. При коренных изменениях в научно-технической и военно-политической обстановке никто не в состоянии оценить их справедливость, основываясь только на интуиции и опыте. Требования поступают к офицерам по контрактам с промышленностью сверху, но не от всевышнего, хотя по протоколам заседаний конгресса можно сделать противоположный вывод. Критическое рассмотрение наложенных ограничений является одной из самых плодотворных областей анализа систем. В заключение скажем еще раз, что цели, следующие из политических решений, никогда не бывают окончательными. Цели одного уровня являются средствами для достижения целей другого уровня, и в случае необходимости следует производить их переоценку. То, что одному человеку представляется средством,

является целью для другого.

7.4. Более широкие задачи: параллельные и отдаленные цели

Если мы должны оценить достаточно узкие или конкретные цели, которые до сих пор не рассматривались отдельно от более широких задач, то возникает вопрос, каковы эти более широкие задачи? Являются ли они окончательными? Формула (4) была записана в таком виде, который предполагает, что они не будут окончательными. Она заканчивалась многоточием ($O_{i+2 \rightarrow \ldots}$), подразумевающим слова «и так далее». Цель обороны стратегического бомбардировочного крыла имеет ряд соприкасающихся с ней задач, например защиту наших городов, и является средством для выполнения дальнейшей цели, состоящей в разрушении объектов противника. Но каковы эти объекты? Будут ли это объекты военной промышленности противника, или его города, или стратегические силы, или наземные и воздушные тактические силы? Объекты, которые может атаковать противник, и объекты, которые могут быть атакованы нами, взаимосвязаны. И эти связи многочисленны и тесно переплетены.

Некоторые из этих взаимосвязей являются благоприятными. Например, зона активной обороны может прикрывать район, в котором находятся как воздушные базы, так и близлежащие города. Радиолокационная система обнаружения, задачей которой является обнаружение цели и наведение на цель средств активной обороны в городах, может не только помочь при активной обороне стратегической базы, но и, подав сигнал тревоги, позволит бомбардировщикам на этой базе заблаговременно подняться в воздух и таким образом сыграть даже более важную роль в пассивной обороне, чем в активной. С другой стороны, некоторые из связей, рассмотренные с количественной точки зрения, оказываются менее благоприятными. Например, посмотрев на карту Соединенных Штатов в целом и по отдельным районам, мы увидим, что города и стратегические базы распределены на ней совершенно различным образом: за отдельными исключениями основные города и промышленные центры находятся на северо-востоке страны; там же большей частью сосредоточены средства активной обороны; стратегические же базы в основном расположены в других местах. Требования к системам предупреждения для стратегических сил отличаются от таких требований для систем активной и пассивной обороны городов: стратегические силы могут находиться в состоянии боевой готовности и способны к немедленным действиям по тревоге о приближении самолетов противника. Другие связи, напротив, могут иметь неблагоприятный характер. Например, самолеты, эвакуируемые по тревоге, могут направиться на аэродромы, расположенные вблизи городов; увеличение прочности укрытий для самолетов, возможно, вынудит противника повысить интенсивность атаки, в результате чего может увеличиться степень разрушения городов.

Следует подчеркнуть, что благодаря множественности взаимных связей, одни из которых благоприятны, а другие нет, простое составление их перечня будет только началом анализа, очень полезным при принятии решения. Для любой заданной совокупности тех или иных мероприятии необходимо оценить численно ряд взаимосвязанных эффектов, что требует большого искусства. Это не всегда отчетливо понималось в прошлом.

Рассмотрим побочный эффект, возникающий при укрытии стратегических ракет. Разумеется, разрушение укрытых ракет сильнее скажется на близлежащих городах, чем разрушение неукрытых ракет. Это обстоятельство привело исследователей, занимавшихся проблемами обороны, к провозглашению следующего общего принципа: «Увеличение защищенности увеличивает мощность огня». Однако, укрывая наши ракеты в земле, мы не приносим в дар агрессору средства их разрушения. Совершая нападение, целью которого является разрушение защищенных ракет и городов, противник должен ввести больше боевых средств. А расстояния, отделяющие места

расположения ракет от населенных центров, достаточны для того, чтобы сделать такое нападение менее опасным для городов, чем, если бы главный удар противника был сосредоточен именно на них. Короче говоря, более внимательное и количественное исследование, возможно, приведет к выводу, что эта взаимосвязь благоприятна.

Аналогичное, хотя несколько более тонкое, рассуждение можно провести, рассматривая метод обороны стратегических ракет, заключающийся в их постоянной перевозке. Хотя подобная стратегия непосредственно не предотвращает нападения бомбардировщиков и ракет противника, она тем не менее заставляет его отвлекать средства на слежение за нашими ракетами, на обнаружение их на или под поверхностью земли или в воздухе, или на открытие огня по этим ракетам, когда они окажутся над территорией противника. Чтобы распутать сложное переплетение связей между такими параллельными целями, требуется тщательный количественный анализ.

Связать назначение и метод защиты стратегических сил с дальнейшими целями, которым должны служить эти силы, столь же важно, как и связать дальнейшие цели с параллельными целями; иногда это следует делать в ходе исследования системы. Бомбардировщики с малой продолжительностью полета, находящиеся на земле или в воздушном патруле, могут быть полезны для нанесения первого быстрого удара по объектам противника первостепенной важности, например по некоторым военным объектам, которые необходимо разрушить уже на начальной стадии военных действий. Но если важно создать после начала военных действий постоянную угрозу объектам противника, чтобы заставить его отказаться от нападения на наши собственные города и привести войну к более благоприятному исходу, то нам, возможно, не следует разрушать все объекты, которые можно было бы разрушить быстрым ответным ударом. Возможно, следует сохранить как объекты противника, так и средства для того, чтобы продолжать угрожать им.

Назначение и метод защиты стратегических сил зависят в этом случае, кроме прочего, от тех объектов, для нападения на которые предназначены защищаемые силы. Предыдущие примеры указывают, что эти объекты, так же как и план нападения на них, менялись много раз и самым коренным образом; к ним могут относиться военная промышленность, сухопутные войска, стратегические силы, города, различные комбинации перечисленных объектов и многое другое.

Но какую пользу мы можем извлечь, угрожая различным системам объектов или совершая на них нападение? Здесь также существует целый ряд взаимозависимостей, и, нравится нам это или нет, при некоторых обстоятельствах приходится разбираться с ними и еще более широко глядеть на проблему.

Еще шире?

Очевидно, что в послевоенный период мы, развивая наши стратегические силы, преследовали большое количество явно различных, но связанных между собой общих целей: сдерживать или воевать, или обладать способностью к обоим действиям в случае континентальной или межконтинентальной агрессии.

Более того, эти стратегические цели имели много сложных связей с другими, более широкими задачами. Они непосредственно связаны с возможным использованием наших собственных наземных, морских и воздушных тактических сил и сил наших союзников в локальных или континентальных войнах. {Небольшие войны могут перейти в более разрушительные и обширные посредством известного механизма эскалации. Наличие локальных войн и необходимость их сдерживания связаны с возможностью более обширных войн. Тем не менее, не всегда ясно, будет ли способствовать возможность эскалации локальной агрессии или окажет сдерживающее действие на нее. Например,

широко распространено мнение, будто уверенность в том, что большая война будет взаимно разрушительной, поощряет большую интенсивность локальных войн из-за убеждения, будто обе стороны будут стремиться сохранить ее локальной. С другой стороны, великие державы действовали весьма осмотрительно во время кризисов на Ближнем востоке, в Юго-Восточной Азии и в Карибском море.)

Помимо существования многочисленных и неявно выраженных связей между целями действий при сдерживании противника или в открытой локальной континентальной и межконтинентальной войне, все эти цели разветвляются дальше, воздействуя на более широкие и менее ясно очерченные области нашего образа жизни и наших союзников. Но способы, которыми мы готовимся защищать себя, также оказывают влияние на этот образ жизни. Подобные связи становятся предметом обсуждения, когда мы рассматриваем вопрос о влиянии военной помощи слабо развитым странам на их политическое и экономическое развитие. Очевидно значение такой помощи для этих стран во время внутренних войн. Но эти войны затрагивают также жизнь в высокоразвитых и демократических обществах наших основных союзников. Такие выражения, как «казарменное государство» и «жизнь в подполье» часто фигурируют в полемике и проникают в анализ. Реальные предложения по вопросам национальной обороны, в частности гражданской обороны, которые рассматриваются в настоящее время, показывают, что существует серьезное расхождение в мерках, с которыми подходят к этим проблемам в полемике и реальной действительности. Более того, польза анализа (а не полемики) подтверждается тем, что сами участники полемики неоднократно меняли свои взгляды, например, по вопросам гражданской обороны. (Не так давно они восхваляли ее благотворное влияние на городское планирование, на решение проблем уличного движения, на насаждение зеленых поясов и т.п.) Тем не менее, когда масштабы и направления воздействия последствий военных решений затрагивают существенные стороны нашего образа жизни, не приходится сомневаться, что выбор наших общих военных целей не может быть оторван от еще более широких проблем существования нашего общества. Задачи уменьшения вероятности нападения или ограничение его воздействия могут изменяться в зависимости от обстоятельств.

Мы, очевидно, хотим располагать высоко надежными методами, позволяющими уменьшить вероятность ядерной войны. Если эта вероятность станет существенной, мы пожелаем, естественно, ограничить возможными мерами и при разумных затратах последствия нападения противника в любых условиях. Но, если это станет возможным, то нам хотелось бы несколько ослабить последствия катастрофы, по крайней мере, при определенных обстоятельствах.

Итак, возможные последствия военных решений лежат в очень широком диапазоне. Они сказываются и па том, без чего можно обойтись, и на том, что желательно, и на том, что жизненно необходимо для нашего общества; они затрагивают интересы наших союзников и интересы дружественных нейтральных стран. В некотором смысле они воздействуют и на наших противников, поскольку у них и у нас могут быть некоторые отдельные общие интересы.

7.5. Происхождение и изменение целей

Каким образом такие широкие задачи, как сдерживание нападения или ограничение его воздействия могут фигурировать в анализе в столь же отчетливом виде, как и в полемике? Лица, занимающиеся анализом систем и исследованием операций, так же как и штабные офицеры, вообще говоря, испытывают затруднения, имея дело с широкими задачами. Они чувствуют себя более свободно, изучая или разрабатывая средства для достижения целей на сравнительно низких уровнях или занимаясь *анализом* альтернативных средств для достижения *заданной* цели. Такие исследования при не слишком внимательном взгляде на вещи представляются имеющими более

надежное основание. Мы иногда предпочитаем думать, что более широкие задачи не могут быть предметом анализа. Они влияют на анализ, но как будто бы сами не испытывают его влияния.

Каково в таком случае происхождение задач? Очевидны два источника: вышестоящие организации и интуиция исследователя. В самом деле, штабная документация и анализ систем часто начинаются с перечисления некоторых крупных задач национального масштаба, а затем уже идет изложение самой работы. Такой подход позволяет сосредоточиться на профессиональных функциях, с которыми все мы чувствуем себя свободнее.

Однако, хотя наша работа может быть начата с целей, источниками которых являются вышестоящие организации или интуиция, или то и другое, нельзя считать, что подобное происхождение целей гарантирует их ценность или неизменность. Во-первых, цели, указываемые вышестоящими организациями, бывают обычно не просто обширными, а, скорее, расплывчатыми; они слишком неопределенны, чтобы с ними можно было работать. Во-вторых, различные вышестоящие организации обычно высказывают противоречивые мнения. Могут существовать также разногласия между отдельными странами, входящими в некоторое содружество, внутри страны между министерствами, между видами вооруженных сил, внутри видов вооруженных сил и так далее, вплоть до разногласий между самыми мелкими подразделениями внутри той или иной организации. В-третьих, даже общие для всех цели (например, сдерживание всеобщей войны) могут вступать в конфликт с другими еще более общими целями (например, иметь более высокий уровень жизни в ближайшем будущем). Эти цели могут самым непонятным образом пересекаться с другими общими для всех целями, и это доставляет массу трудностей при анализе. Благоприятная взаимозависимость заставляет нас дополнительно рассматривать возрастание расходов на выполнение определенной работы оборонительной системы, имеющей двойное назначение, по сравнению с оборонительной системой, имеющей единственное назначение. Но взаимозависимость может быть и неблагоприятной, и, возможно, мы не захотим убивать сразу двух зайцев. В-четвертых, привлекательность той или иной цели зависит от расходов на ее выполнение. Может оказаться, что игра не будет стоить свеч. В предельном случае цель может быть и вовсе не достижима.

Мы не можем в общем случае поставить вопрос о том, существует ли противоречие между несколькими достижимыми сложными целями или они содействуют друг другу; Для этого необходим их внимательный количественный анализ в каждом конкретном случае. Для определения объема затрат и оценки их воздействия на другие цели необходимы тщательный анализ и экспериментальные исследования; решение этой задачи будет особенно плодотворным, если наше исследование не является пассивным, а изыскивает новые пути для того, чтобы сделать совместимыми некоторые цели, не являющиеся таковыми при существующих обстоятельствах. Содействуют ли друг другу цели или мешают, может зависеть от средств, используемых для их достижений, поэтому часто можно сделать цели совместимыми, применяя новые средства. Как при плохом построении систем приходится без необходимости и часто без всякого смысла жертвовать одной жизненно важной целью ради другой, так при некоторой изобретательности часто можно добиться полезного компромисса между целями. Ранее мы говорили о необходимости преодоления ограниченности и анализа совместимости задач низшего уровня с целями высшего уровня. Теперь мы рекомендуем обратное — оценить цели с позиций средств, необходимых для их достижения. В действительности мы постоянно совершаем процесс выбора и изменения как средств, так и целей. Мы оцениваем выбранную цель, исходя из необходимых для ее достижения средств, и наоборот. Короче говоря, мы рассматриваем их совместно.

Может показаться, что все это противоречит известным заявлениям о «ценностях», которые являются «окончательными» и не подверженными влиянию «фактов». Что же, *о вкусах не спорят.* Но подобные афоризмы предполагают, что интуиция всегда сильна или, во всяком случае, явля-

ется нашим единственным средством.

Однако ссылки на интуицию неубедительны. Во-первых, между авторитетами существуют разногласия. Некоторые весьма почтенные и мудрые люди утверждали прямо противоположное: вкусы — единственное, о чем стоит спорить. Согласимся мы или нет с этими противоположными мнениями, тем не менее очевидно, что если под «вкусами» понимаются предпочтения в сложных проблемах выбора, подобных описанным проблемам обороны и контроля над вооружением, то эти вкусы являются неочевидными, неопределенными, подверженными изменениям, часто изменяющимися и на самом деле о них постоянно спорят.

Во-вторых, рассматриваемые вопросы слишком сложны, чтобы можно было установить какую-либо аналогию с предпочтениями, основанными на простых чувственных восприятиях типа «шоколад вкуснее ванили», хотя такая аналогия напрашивается из-за слова «вкусы». Порядок предпочтения таких обширных целей, как сдерживание или ведение локальных, континентальных и межконтинентальных войн, не может быть надежно установлен прикосновением языка или воспоминанием о таких прикосновениях, так же как и при помощи любого другого неосознанного восприятия.

В-третьих, мы можем сделать кое-что более полезное, чем провести простое обсуждение противоречий между целями. В обществе, где вопросы решаются большинством голосов, цели не всегда меняются в результате окрика или давления сверху. Анализ систем может расширять области, в которых существует единомыслие, увеличивая количество информации о неопределенных событиях, исследуя, какие средства необходимы для достижения заданной цели, и ее совместимость с другими целями, а также разрабатывая системы разнообразного назначения.

В-четвертых, даже в тех случаях, когда воздействие на цели не является основным назначением анализа, это воздействие часто имеет место.

Некоторые из этих положений можно показать на примере сдерживания континентального и межконтинентального нападения и ограничения ущерба в случае, если сдерживание окажется безуспешным. Мы вновь обратимся к истории межконтинентальных полетов и к роли системных исследований в пятидесятые годы.

7.6. Сдерживание: пример с межконтинентальными полетами

В течение послевоенного периода важная роль сдерживания особенно возросла. Возможные тяжелые последствия ядерной войны приводят к необходимости делать упор на то, чтобы уменьшить вероятность такой войны. Само по себе сдерживание, конечно, не представляет ничего нового, так же как и возможность одержать бесполезную победу. Но классический пример Пирра и пирровых побед в наши дни еще более уместен, чем когда бы то ни было. Возможно, что победу ничем нельзя заменить, но и победа еще всего не заменяет.

Склонность к риску у различных стран различна; вероятно, еще больше различаются их понимания риска. Тем не менее, осторожная политика великих держав, так же как и других менее крупных стран, свидетельствует о том, что они отдают себе отчет в опасности перерастания локальных ограниченных или безъядерных конфликтов в атомную войну.

Но даже если сдерживание сегодня еще важнее, чем прежде, то остается открытым вопрос, имеет ли оно большое практическое значение для военных решений. Не будут ли наилучшие сдерживающие силы одновременно наилучшими для создания угрозы противнику, для ведения вой-

ны и для достижения наилучшего ее исхода? И не будет ли справедливым обратное утверждение?

Абстрактный ответ па подобный вопрос невозможен. На него нельзя ответить просто «да» или «нет». Военная мощь, созданная с учетом только одной из этих целей, может отличаться от военной мощи, при создании которой первостепенное внимание уделялось другой цели. Это важное положение стало особенно очевидным в последнее десятилетие.

С другой стороны, цели пересекаются друг с другом на высших уровнях, и это тоже очень важно. Различные цели порождают различный образ действий. Покажем это на уже знакомом всем нам примере: на действиях полисмена, регулирующего уличное движение.

«Отцы города» хотели бы уменьшить количество нарушений правил уличного движения. Они хотели бы также наказывать штрафом или тюрьмой возможно большее число нарушителей. Существуют два хорошо известных альтернативных способа достижения этих целей — полицейская засада или открытое патрулирование. Первый способ увеличивает вероятность обнаружения нарушения и задержания нарушителя; второй — отбивает охоту к нарушениям. Если наша цель — максимум (абсолютный или относительный) наказанных нарушителей или доходов от штрафов, то, по-видимому, для этого лучше подойдет засада, хотя подобная тактика и претила бы нам. Если же, с другой стороны, наша цель состоит в уменьшении количества дорожных происшествий или числа нарушений правил уличного движения, даже если нарушитель не будет обнаружен, поскольку он осведомлен о присутствии полисмена, то наличие как можно более частных и нескрытых полицейских постов, способных принять немедленные меры против нарушителей, побудит водителей к осторожности и наилучшим образом будет способствовать достижению этой цели. Таким образом, можно попутно избежать некоторых нежелательных косвенных последствий засады, например падения нашего уважения к властям при виде здоровяка на мотоцикле, прячущегося за деревом.

Другой пример исследования проблем относится к опыту межконтинентальных действий авиации. В начале пятидесятых годов, когда стали осознавать важность проблемы уязвимости стратегических сил, были предложены многие альтернативные методы их защиты. Одним из них предлагалось ввести в заблуждение противника, заставив его подумать, что наши стратегические силы являются уязвимыми в некотором месте, хотя на самом деле этого не было. Предполагалось также, что вероятность действительного разрушения стратегических сил уменьшится. Противник согласно этому методу, искушенный нашей кажущейся слабостью, мог бы атаковать наши стратегические силы в местах, представляющихся незащищенными, понапрасну растратить свои силы и помочь нам создать решающий перевес для победы в войне. Однако подобный метод обмана противника требовал расходов, превышающих миллиард долларов, и к тому же было ясно, что при некоторых условиях обман может оказаться безуспешным. Впрочем, предлагались и другие методы обмана противника, которые были дешевле и надежнее. Но принципиальная слабость этих предложений состояла в пренебрежении тем обстоятельством, что противник, ответивший на наше приглашение нанести удар по предположительно незащищенным стратегическим силам, может при этом промахнуться и ударить по Вашингтону, Нью-Йорку, Лос-Анжелесу и другим нашим важнейшим городам, Тогда он может начать войну, которую он не решился бы развязать, если бы мы сами не ввели его в соблазн, уверив, что он может разрушить наши силы возмездия. Обмануть противника, заставив его подумать, что наши стратегические силы являются уязвимыми в некотором месте, где в действительности они не являются такими, это значит забыть, что сдерживающее воздействие стратегических сил обусловлено репутацией их неуязвимости.

Этот пример ясно показывает, как легко можно упустить из виду функцию сдерживания, выбирая методы подготовки к войне, и как легко возникает расхождение в целях. В начале пятидесятых годов встречались и другие, менее очевидные, но еще более важные примеры . Так, разрабатыва-

лись программы, позволяющие нам получить ударные силы, мощь которых была бы весьма велика после начала военных действий при определенных обстоятельствах, но которые были бы угрожающе слабыми при других вполне возможных обстоятельствах; таким образом, их надежность как средства сдерживания в условиях грозящего конфликта была сомнительна. Однако эти слабости программ не были очевидными. Их выявление и оценка влияния программ на функцию сдерживания потребовали систематического и очень подробного анализа текущих и планируемых операций. При изучении вопроса о базах, описанного в гл. 3, такой кропотливый анализ был проведен. При этом, чтобы получить предварительные данные, потребовалось несколько месяцев экспериментальной работы.

В действительности в начале пятидесятых годов проблема защиты бомбардировщиков на земле от нападения авиации противника не считались существенной. Частичное объяснение тому скрыто содержалось в приведенном выше изложении истории развития стратегических бомбардировочных операций и возрастания роли межконтинентальных действий. Мы предполагали, что наши стратегические силы будут наносить удары, не подвергаясь воздействию противника на базах. Короче говоря, перед нами не стояла проблема ответного удара в том смысле, в котором это выражение используется в наши дни, т.е. удара силами, выжившими после нападения противника. Не потому, конечно, что мы замышляли агрессию, но потому, что мы рассчитывали ответить на агрессию, направленную в первую очередь против наших союзников[27]. Более того, мы рассчитывали вести длительную войну в Европе после того, как израсходуем нашу стратегическую ядерную мощь на возможно более полное разрушение военно-экономического потенциала противника, который в то время представлялся основным стратегическим объектом. Мы предполагали, что в мирное время наши бомбардировщики будут находиться на базах в Соединенных Штатах, а часть их будет постоянно совершать полеты за океан и обратно. Мы предполагали также, что после начала военных действий наши средние бомбардировщики будут переправлены через океан и будут совершать нападения на объекты противника с заморских баз, не возвращаясь в Соединенные Штаты. Но при этом, даже если пренебречь возможностью нападения бомбардировщиков противника, остаются огромные трудности, заключающиеся в сборе необходимого количества бомбардировщиков, заправщиков, обученных экипажей, а также проблемы хранения, снабжения и операций на базах. С учетом проблемы технического обслуживания тяжелых и средних бомбардировщиков, малой дальности действия большей части наших сил и проблемы сосредоточения совершенно различных по своим характеристикам элементов ударных сил (скоростных бомбардировщиков, заправщиков с малой скоростью полета, снаряжения бомб, хранящихся на различных базах, и так далее), подготовительный период стратегической бомбардировочной операции растягивал ся на несколько дней. В этих условиях противник мог бы напасть на наши стратегические силы и сорвать выполнение этой длительной, сложной и громоздкой операции.

Кроме того, как свидетельствует история разработки самолета B-36, проблема стратегических бомбардировок понималась в то время совершенно по-иному, чем в наши дни, хотя ее основанием служили возникшие в период между двумя войнами и во время второй мировой войны доктрины и предположения относительно объектов нападения стратегических сил обеих сторон (главным образом, на промышленные центры противника, питающие его мощь и волю) и основных препятствий и к достижению целей сторон (главным образом, активная оборона противника). Естественно, что с появлением ядерного оружия наше внимание привлек вопрос о том, каким образом оно сможет помочь достижению известных целей при наличии известных препятствий. Такая постановка проблемы очевидна, например, в межведомственных разногласиях, касающихся B-36; ключевыми вопросами здесь были способность бомбардировщиков B-36 к прорыву ПВО обороны, эффективность ядерного оружия и этичность бомбардировок невоенных объектов. С та-

[27] Типичные рассуждения в духе холодной войны и лицемерных заявлений о «миролюбии» американского империализма. Им уже давно никто не верит. *(Прим. ред.)*

кой постановкой задачи можно было встретиться и в анализе систем того времени. В исследованиях систем, имеющих целью выбор бомбардировщика, изучались скорость, высота, бомбовая нагрузка, сравнительные характеристики малых и больших самолетов при прорыве обороны противника и разрушении объектов и т.п. И так же, как при анализе бомбардировочных систем бомбардировщики изучались по отношению к обороне противника, так и при анализе наших оборонительных систем, за отдельными исключениями, средства активной обороны изучались по отношению к бомбардировщикам противника. Но ни в одном из этих исследований проблема защиты бомбардировщиков от нападения противника не находилась в центре внимания, как это имеет место сегодня.

Исключительно важное различие между целью, состоящей в обеспечение возможности первого удара, и целью, состоящей в достижении способности ко второму удару, в конце концов выявилось, но лишь в ходе обширной эмпирической работы.

Исследование вопроса о базах, описанное Э. С. Квейдом в гл. 3, было выполнено методом последовательных приближений. В этом исследовании сравнивались эффективности выполнения различными видами сил задачи несения бомбовой нагрузки между базами и объектами без противодействия перехватчиков или бомбардировщиков противника. Затем в анализ были последовательно включены различные препятствия, прежде всего оборона противника, затем бомбардировка противником наших бомбардировщиков и других элементов сил, необходимых для нанесения ответного удара. В общем альтернативные системы сравнивались сначала по их способностям нанесения первого удара, а затем по способностям нанесения второго удара. И разрабатываемая система должна была действовать совершенно различным образом, в зависимости от того порядка, в котором наносит удар противник.

В ходе анализа мер противодействия и противопротиводействия выяснилось, что проблема вражеской бомбардировки является главенствующей. Это справедливо даже для системы весьма совершенных заокеанских оперативных баз. Система баз для заправки бомбардировщиков топливом была гораздо менее чувствительна к нападению противника. Только то обстоятельство, что в ходе рассмотрения нападения на наземные цели выявились различия между исследуемыми системами, вызвало интерес к различиям между первым и вторым ударом. Однако перед началом анализа не было известно, что лишь немногие проектируемые бомбардировщики смогут уцелеть после нападения и встретятся с проблемой прорыва обороны противника, которая прежде рассматривалась как основное препятствие. Таким образом, не только исследуемые цели действия оказали влияние на анализ, но и анализ оказал свое влияние на цели.

Различия между первым и вторым ударом и сейчас представляют интерес при проектировании стратегических сил великих держав и особенно при оценке целей и возможных действий так называемой *n*-й державы, т. е. державы, не входящей в основные группировки, но обладающей ядерным оружием. В последнем случае исследование проблемы этих различий должно напомнить нам, что способность великой державы к сдерживанию не вытекает автоматически из факта обладания ядерным оружием. Если малая ядерная держава пожелает найти надежное средство сдерживания великой державы, то такая возможность существует и она отразится на выборе соответствующих целей. Малые державы могут сделать выбор между созданием собственных средств сдерживания (что рискованно и ненадежно) и вступлением в военный союз.

Наконец, исследование вопроса о базах показывает, каким образом анализ систем может оказать влияние на цели, даже если не имеются такие намерения. Его основным содержанием был выбор между альтернативными системами баз. В самом деле, одновременно с исследованием некоторых взаимосвязей между объектами бомбометания, базами и характеристиками бомбар-

дировщиков, предпринимались сознательные попытки разработать такие схемы размещения баз, с которых можно было бы совершать налеты не только по выбранному (в достаточной мере произвольно) промышленному комплексу, состоящему из 100 объектов, но и против других разнообразных систем объектов (комплекс из 1000 объектов, городские комплексы и разнообразные системы военных объектов); при исследовании систем баз сравнивалась их чувствительность к изменениям предъявляемых к ним требований с точки зрения места и времени действий, которые, возможно, будут иметь место при достижении альтернативных целей. Тем не менее независимо от этих явных и вполне успешных попыток разработки метода выбора базы, сравнительно нечувствительного к существенным изменениям целей, главным итогом исследования вопроса о базах для его авторов было то, что выяснилась функция сдерживания и обнаружилась возможность расхождения между способностью к подавлению при определенных обстоятельствах стратегических сил противника и способностью к его сдерживанию.

Исследование вопроса о базах показало возможность такого расхождения в целях, но оно не показало его неизбежности. В 1955 г., когда впервые были прочитаны лекции, на основе которых составлена настоящая книга, приходилось доказывать важность изучения проблемы сдерживания и необходимость различать способность к сдерживанию и к ведению войны. Сегодня вряд ли необходимо убеждать кого-либо в этом. С тех пор возникла другая тенденция, ведущая к противоположной крайности: рассматривать только проблему сдерживания. В наши дни распространилось мнение, что не существует почти никакой связи между способностью противника к сдерживанию и способностью к ведению войны. Полагают, в частности, что создание способности к ведению войны и способности к ограничению военного ущерба вредно для страны, поскольку в таком случае противник сможет ожидать нападения и попытается нанести предупредительный удар. Мы подошли, таким образом, ко второй цели.

7.7. Ведение войны

Цель ведения войны и выхода из нее с возможно более благоприятным результатом в случае, если сдерживание окажется безуспешным, представляется достаточно разумной, но тем не менее постоянно приходится встречаться с распространенным мнением, что способность к ограничению военного ущерба несовместима с еще более похвальной целью, состоящей в сдерживании противника и предупреждении начала войны. Серьезный анализ пересечения и расхождения этих целей требует большого количества конкретной информации и строгих рассуждений. Возможности конфликта между этими двумя целями или их содействия друг другу являются подходящим предметом для анализа систем, и, напротив, они не могут рассматриваться как бесспорные аксиомы при анализе.

Тем не менее предположения об идентичности целей сдерживания и ведения войны, а также представление о неизбежном конфликте между ними побудили к проведению ряда фрагментарных исследований, однако сами эти предположения не были сформулированы в результате анализа и не были им подтверждены. Подобные догмы были в свое время широко распространены, но затем от них постепенно отказались. Во всяком случае, изучая проблему ограничения военного ущерба и благоприятного исхода войны, нужно предварительно ответить на несколько вопросов.

Первый из них касается осуществимости. Сразу же очевидно, что лучше всего было бы постоянно обладать в течение долгого мирного периода высоко надежными средствами, позволяющими выйти из ядерной войны с основным противником почти невредимыми, кто бы ни начал войну. Сомнительно, однако, чтобы это было осуществимым для великой державы, если противостоящая ей держава делает все возможное, чтобы не допустить этого. С другой стороны, если рассмотреть способность великой державы несколько умерить последствия катастрофы в некоторых,

достаточно вероятных случаях, то возникшие проблемы осуществимости будут менее сложными. При этом возникают интересные эмпирические и аналитические вопросы, требующие внимательного изучения выгод, затрат и возможностей конфликта между целями, состоящими в ограничении урона и сдерживании или их содействии друг другу.

Сдерживание имеет целью предотвращение континентальной и ограниченной или межконтинентальной агрессии. И именно в связи с этими целями сдерживания были развиты представления о том, будут ли сдерживание и ограничение ущерба вступать в конфликт или поддерживать друг друга. Теория массированного возмездия, так же как и теория, согласно которой мы должны стремиться к сдерживанию только межконтинентальной войны, основаны на предположении, что, чем страшнее будет угроза, тем эффективнее сдерживание. Более того, утверждалось, что те ужасы, к ограничению которых мы должны стремиться, в равной степени страшны как жертве агрессии, так и агрессору. Однако можно усомниться в том, что эффективность сдерживания зависит только от способности к нанесению ущерба. При критике теории массированного возмездия предполагалось, что ее эффективность зависит от вероятности осуществления угрозы. Последняя в свою очередь зависит от обстановки в момент принятия решения, от того, как рассматривает потенциальный агрессор свои собственные альтернативы и как, с его точки зрения, рассматривает жертва его агрессии свои альтернативы в момент кризиса, когда жертва должна сделать выбор между отступлением и готовностью нанести ответный удар.

Иногда масштаб угрозы может решающим образом уменьшить вероятность ее осуществления. По-видимому, во время войны в Корее и несколько позже в Индокитае вероятность того, что Соединенные Штаты воспользуются своей существовавшей в то время почти полной монополией на ядерное оружие, была невелика, поскольку ответственные руководители США и наши союзники считали его применение неуместным из-за исключительной разрушительной способности

Примерно то же самое можно показать на нашем примере с уличным движением. Может показаться, что если открытый патруль будет подвергать задержанных нарушителей самому суровому наказанию, то мы будем иметь почти идеальное средство сдерживания нарушений уличного движения, и, чем строже будет наказание, тем ближе мы будем к идеалу. Следуя этой теории, мы наилучшим образом воспрепятствуем нарушениям, подвергая нарушителей смертной казни. Но хотя такое наказание может показаться достаточно грозным, чтобы никто не осмелился превысить скорость улитки, совсем не ясно, будет ли так на самом деле. Опыт истории позволяет сделать противоположное заключение: возможно даже, что это приведет к увеличению количества нарушений и к всеобщему пренебрежению к правилам уличного движения. Эти сомнения основаны на известном принципе жестокости и необычности такого наказания. Представим себе, что за проблемы возникнут в обществе, подобном нашему, если группа подростков будет задержана за превышение скорости. Сомнительно, что они будут арестованы; если же они будут арестованы, то маловероятно, что они будут признаны виновными; если же они будут признаны виновными, приговор вряд ли будет исполнен. Мы не хотим, чтобы наши полицейские, присяжные, судьи были жестоки и чтобы наше общество смирилось с этой жестокостью. Если же цепь событий, приводящая к наказанию, как правило, будет обрываться, то станет очевидным, что в действительности превышение скорости остается безнаказанным и количество нарушений возрастет.

Этот пример отнюдь не является чисто гипотетическим. Развитие английского права дает массу исторических примеров, показывающих, как чрезмерность наказания может увеличить вероятность преступления. В восемнадцатом веке, когда Блекстоун писал свои знаменитые «Комментарии к английским законам», парламент объявил не менее 160 преступлений, караемых смертной казнью. «Столь ужасный перечень,— писал Блекстоун,— вместо того, чтобы уменьшить число преступников, увеличивает его, ибо потерпевшая сторона из сострадания часто отказывается от пресле-

дования преступника, или же присяжные по той же причине оправдывают обвиняемого или произвольно изменяют состав преступления, или же судьи сходным образом рекомендуют милосердие».

Представим теперь себе, что может случиться со сдерживанием, если эти ужасные кары обрушатся не только на преступника, но и на исполнителей закона. Вероятность наказания за превышение скорости в нашем примере была бы еще меньше, если бы в группе подростков оказались дочери судей, присяжных или полицейских, т.е. в том случае, если бы наказание непосредственно затрагивало тех, кто вершит суд, а не только их понятия о том, что является справедливым и уместным.

Аналогия в случае обеспечения международной безопасности очевидна. Поскольку монополия на ядерное оружие больше не существует, угроза массированным ядерным возмездием на локальную и мелкую безъядерную агрессию становится менее убедительной, поскольку угрожающий, исполняя угрозу, может быть затронут ответным ударом. Это справедливо по отношению к великим державам и еще более к меньшим ядерным державам, принявшим политику массированного воздействия, поскольку они являются особенно уязвимыми.

Однако возможности пересечения или расхождения целей сдерживания и целей ограничения ущерба в местных, континентальных и межконтинентальных войнах требуют изучения применительно к конкретным видам угроз и конфликтов.

7.8. Противодействие и содействие противника

При рассмотрении целей, достижению которых может способствовать военный анализ систем, были перечислены наши устремления от самых обширных до минимальных. При этом ничего не было сказано о целях противника и о его возможном противодействии достижению наших целей. Но, конечно, существенной чертой изучаемых нами проблем является то, что их всегда следует рассматривать как двусторонние. Перед противником стоят разнообразные цели, которые являются аналогами наших целей и иногда непосредственно вступают с ними в конфликт[28]. (К счастью для нас, он имеет также некоторые цели, общие с нашими, но их слишком мало для того, чтобы сделать легкой нашу проблему). Хотя это совершенно ясно в принципе, исследователи и лица, принимающие решения, часто забывали об этом.

Не так-то просто ввести в наши расчеты наличие противника таким образом, чтобы ему была приписана свобода противодействия, которой он фактически обладает, нашему стремлению к максимальной безопасности за его счет. Так, рассматривая активную оборону противника, которую должны подавить наши наступательные системы, принимаем ли мы во внимание средства, позволяющие использовать слабости, свойственные этим системам? В большинстве исследований, которые приходилось видеть автору (был ли это специальный анализ систем или штабные разработки), это не имело места.

Например, проведенные в начале пятидесятых годов исследования не учитывали, что противник может перестроить свой оборонный бюджет так, чтобы выделить больше средств на системы ПВО объектов для ведения борьбы с нашими системами, более уязвимыми для ПВО объекта, чем для средств ПВО зоны. Это было плохо. Но во многих исследованиях средства нападения противника вообще остались без внимания. Так, учитывались боевые потери в воздухе и совершенно не рассматривалась возможность потерь сил нападения на земле. Такая неполнота исследования не была, конечно, ни в коем случае тривиальной. Влияние потерь наземных сил при

---

[28] Дело не в «гуманности» американских руководителей (Даллеса — Эйзенхауера), как пытается уверить автор, а в том, что монополии на ядерное оружие тогда уже давно не существовало. Кроме того, они боялись, что атомное оружие в условиях народной войны ожидаемого эффекта не даст, а это лишит действенности их любимое средство — атомный шантаж. *(Прим. ред.)*

анализе стратегических бомбардировок часто первенствовало над влиянием потерь сил в воздухе. Аналитически-опытный метод исследования потерь сил на земле, хотя бы и самый грубый, в общем очень важен. Следует подчеркнуть экспериментальный метод, поскольку в свое время был проведен ряд исследований стратегических бомбардировочных систем, в которых сравнение проводилось только по признаку затрат на защиту стратегических баз. Превосходство избранной системы над отвергнутой определялось затратами на оборонительные мероприятия и бывало с этой точки зрения весьма значительным. Однако, к сожалению, эти затраты были назначены произвольно, а не получены в результате анализа. Когда эти произвольные допущения закладывались в весьма совершенную модель, вряд ли выполнялось названное выше требование аналитического и экспериментального учета воздействия наступательных средств противника. Наконец, даже сейчас, когда при исследовании наземных потерь используются гипотетические количественные оценки, по-прежнему редко можно найти экспериментальное исследование взаимодействия между нападением с земли и подавлением обороны и еще реже исследование взаимодействия всей последовательности операций, включая управление и контроль с обеих сторон. Простые модели ракетных поединков, которыми изобилует популярная литература по стратегии, редко имеют какую-то экспериментальную основу.

Ч. Хитч упомянул о возможностях использования для учета реакции противника таких средств, как военные игры и теория игр. Так же, как и он, автор сдержанно относится к современному использованию теории игр и самих военных игр .

Теория игр, подчеркнул Хитч, полезна как общая схема, но путь от ее теорем до любой сложной проблемы выбора, к которой можно было бы применить эти теоремы, является долгим. Игры могут быть полезной составной частью исследования систем. Здесь следовало бы подчеркнуть, что крайне важно учитывать реакции противника, но что это не обязательно делать в рамках формальной игры с ее аппаратом строгих правил, определяющих допустимые ходы и выигрыш в каждой партии. Например, сотрудники корпорации РЭНД, анализируя возможные схемы размещения альтернативных оборонительных систем, обычно рассматривают некоторую оборонительную тактику и затем пытаются представить себе средства, при помощи которых противник лучше всего сможет противодействовать этой тактике; затем они рассматривают другую тактику и изучают для нее возможные меры противодействия, и т.д.

При таком подходе каждый рассчитанный вариант является результатом обширного исследования не только нашей тактики, но и ответных реакций противника. Подгонка оптимальных мер противодействия противника к нашему выбору была также важной частью проведенных корпорацией РЭНД исследований схем размещения авиационных баз. Этот тип исследования служит одним из видов «минимаксного» анализа. То же самое согласование действий и противодействий должно иметь место при разработке и оценке двусторонних соглашений о контроле над вооружением, соблюдение которых не должно приниматься на веру. Подобные попытки учета действий противника, предполагающие возможность его максимального удара по нашим силам и последующее определение структуры наших сил, способных эффективно выполнить свою задачу при оптимальных действиях противника, обычно говорят нам больше, чем формальная игра. В игре слишком часто истинный вопрос заключается в правилах игры, но игроки обычно сосредоточивают всю свою изобретательность на том, как обратить эти правила в свою пользу[29].

Иногда говорят, что те, кто занимается разработкой стратегии и анализом систем, должны счи-

[29] По этим и связанным с ними причинам автор предпочитает проводить различие между исследованием систем в конфликтных ситуациях и тем, что обычно называют системотехникой применительно, например, к строительству общественных сооружений, называя первое исследование «созданием конфликтных систем». О различии между двумя этими видами исследований говорится в работе автора «Strategy and the Natural Scientists», помещенной в сборнике под ред. Robert Gilpin and Cristopher Wright (eds.), «Scientists and National Policy Making» (Columbia University Press, New York, 1963), а также в его книге

тать (или, во всяком случае, считают), что приготовления к войнам и сами войны ведутся обеими сторонами наиболее рациональным образом. Подобное утверждение выглядит достаточно наивным, да таким оно и является в действительности. Главы государств и командующие вооруженными силами, как и все люди, не всегда имеют самые разумные намерения. Они не являются строго рациональными существами, да и если бы и являлись, то их намерения неизбежно были бы искажены при передаче по бюрократическим каналам, по которым поступает к руководителям информация и передаются их решения. И конечно, в природе конфликтных систем нет ничего, заставляющего предполагать, что противник всегда действует разумно. Честная оценка нашей собственной истории и истории наших союзников, не говоря уже о том, что нам известно об истории и системах противника, явно свидетельствует о высокой вероятности неразумных действий.

Тем не менее возможности разумного поведения играют большую, если не исключительную роль в анализе систем. Если люди и не являются всегда разумными созданиями, то они единственные создания, которые *иногда* поступают разумно.

Противник действует так, чтобы исполнить собственные намерения, и, поступая так, вредит нашим намерениям. Во времена Пирл-Харбора, например, мы оставили северный подступ к Гавайским островам неприкрытым морской или воздушной разведкой. Японцы получили возможность атаковать окружным путем, используя эти подходы, что они и сделали[30]. При этом мы предполагали, что дальность действия японских самолетов недостаточна для нападения на Филиппины с Тайваня. Мы были правы. Но мы предполагали также, что такое положение не изменится, и в этом мы ошиблись. Японцы также произвели расчеты и, изменив оборудование и обучение летчиков, расширили дальность действия своих самолетов так, что они стали способными выполнить эту задачу[31]. Можно привести много аналогичных примеров, в которых одна воюющая сторона строила свои предположения, основываясь на желаниях, чтобы противник не использовал ее слабости.

Другой пример из времен второй мировой войны касается случая, когда предположение о том, что немцы будут действовать разумно, помогло англичанам разработать меры противодействия. Во время битвы за Англию англичане обнаружили, что немецкие бомбардировщики совершают полет по радиолучу; это была система, известная под названием Knickabein. Англичане могли засечь этот луч при условии, что им предварительно известно место, на которое будет совершено нападение. Они рассудили, что заводы фирмы Роллс-Ройс в Дерби, где было сосредоточено производство почти всех английских авиадвигателей, должны быть наиболее привлекательным объектом для нападения немцев и поэтому они обязательно атакуют их. Немцы так и сделали и были засечены. Короче говоря, противники иногда действуют наилучшим для себя образом. Не считаться с этим иногда гибельно; признать это иногда очень полезно.

С другой стороны, при сильно разветвленном и сложном механизме Министерства обороны США и при широких возможностях создания новой военной техники в наши дни неизбежны многочисленные нерациональные действия. Доктрины и взгляды на проблемы меняются медленно, и, даже когда они меняются, влияние этого изменения на текущие силы не бывает ни скорым, ни полным; для этого необходим длительный период исследований и разработок сложной техники. История разработки B-36 показывает, насколько длительным бывает путь от первоначального проекта до его реализаций и как много случайностей встречается на этом пути. Силы, которыми располагают, будут, вероятно, в значительной части состоять из систем оружия, избранных в расчете на

«Scientists, Seers and Strategy.»

30 Когда они этому научатся, правила, конечно, придется изменить.

31 Радиолокационные станции, прикрывающие эти подходы, работают только с четырех до семи часов утра, а сигнал о приближении японских самолетов, принятый двумя операторами через несколько минут после 7.00, был ошибочно объяснен полетом нашего самолета B-17.

обстоятельства, которые не осуществились, и на основании случайных и ошибочных предположений о будущем. Итак, мы можем ожидать, что наличное вооружение не будет полностью соответствовать задачам вооруженных сил. Но как велико будет это несоответствие? Одни недостатки могут быть устранены быстрее, чем другие. Изменение методов операций может, например, идти быстрее, чем изменение техники. Поэтому, возможно, будет более рискованным рассчитывать, что в ближайшем будущем сохранятся нерациональные особенности техники и стратегии противника, чем полагать, что структуре его сил свойственна устойчивость или медленные изменения.

Как анализ систем позволяет учитывать неопределенности в оценке возможностей и намерений противника? Мы видели, что один путь, позволяющий обойти проблему, связанную с учетом действий противника, состоит в том, чтобы ограничить рассмотрение только некоторыми вполне определенными структурами оборонительных и наступательных сил, которые не могут изменяться в зависимости от избранной нами стратегии, безусловно, известной противнику. При сравнении альтернативных систем в этих условиях предпочтение, по крайней мере, бессознательное, будет отдаваться системам, имеющим лучшие данные, чем те, к которым эти вполне определенные силы противника могли бы оказать противодействие. В результате проблема столкновения с противником становится чересчур облегченной. Мы предполагаем, что для истребителей противника установлен некоторый фиксированный боевой потолок, и затем проектируем свои бомбардировщики так, чтобы они могли летать чуть выше. Или мы устанавливаем некоторый конкретный предел дальности действия местной ПВО противника и затем начинаем разрабатывать систему для бомбометания на больших расстояниях.

Какими могут быть альтернативные методы? Следует ли предположить, что противник может действовать без всяких ограничений? Тогда анализ был бы прост — проблема была бы неразрешимой. Если наши ресурсы ограничены, а у противника нет, то результат не потребует сложных расчетов. Вряд ли мы также что-либо выиграем, предположив, что у нас есть абсолютное оборонительное оружие против гипотетического абсолютного наступательного оружия противника. Однако в подобных попытках освободить противника от всяких ограничений есть зерно истины. Мы имеем в виду, что помимо изучения проблемы при некоторых обоснованных ограничениях желательно определить, при каком уровне возможностей противника наша стратегия потерпит крах. Чтобы наши рассуждения не отрывались от реальности, важно определить границы возможного объема используемых ресурсов. С другой стороны, мы должны воздать «дьяволу дьяволово» и позволить противнику свободу маневрирования ресурсами в пределах реальных ограничений, справедливых для рассматриваемого периода времени. Это означает применительно к проблеме разработки новой техники, что в реальных условиях существует немного ограничений ресурсов, которые можно было бы уверенно считать неизменными в пределах длительного срока (хотя бы среди них были и такие, с учетом которых мы были бы намерены действовать).

Недостатки большинства моделей боевых потерь сил воздухе, служивших для ответа на вопросы разработок вооружения, состояли в том, что они рассматривали вопросы разработок аналогично вопросам закупок и использования систем. Например, каждый из нескольких наступательных летательных аппаратов можно охарактеризовать сочетанием величин, определяющих скорость, высоту, полезную нагрузку, точность и т.д. Каждому из них противодействует одна и та же система ПВО, схема которой по размещению и боевому применению считается постоянной. Очевидно, однако, что подобная модель недостаточна даже для рассмотрения альтернатив при закупках и применении вооружения, поскольку в ней не учитываются существенные возможности действий, которыми располагает противник и мы сами. Ибо даже когда мы закупаем уже разработанный образец, мы неизбежно обнаруживаем, что изменения уровня техники за время его эксплуатации открывают возможность его дальнейшего совершенствования. Так, на самолете B-36 были установлены реактивные двигатели. Модели, подобные рассмотренной выше, не позво-

ляют учитывать реальной свободы действий, которой располагают обе стороны.

Рассматривая проблемы разработок вооружения, мы не можем считать технические характеристики образца неизменными. Нам необходима методика, позволяющая определить требования к характеристикам, которые будут давать цель действиям конструктора. Как можно сделать это? Одним из таких методов может служить проверка каждой системы, обладающей заданной совокупностью рабочих характеристик на противодействие противника, который, располагая доступной ему информацией, будет, с учетом ограничения ресурсов, стремиться использовать слабости испытываемой системы. Ясно, конечно, что сложность проблемы, заключающейся в оптимальном или хотя бы просто удовлетворительном согласовании стратегии противника с нашей стратегией, возрастает, когда мы рассматриваем более отдаленные во времени стратегии. Мы должны рассмотреть не только отдельные воздушные сражения между конкретными бомбардировщиками и конкретными истребителями, но и самые многочисленные разновидности сражений между наступательными аппаратами различных типов и различными сочетаниями систем ПВО объектов и ПВО зоны при разнообразных вариантах распределения ресурсов как нами, так и противником между оборонительными и наступательными системами.

Итак, один путь разрешения проблемы неопределенности в оценке возможностей и намерений противника состоит в том, чтобы полагать, что в пределах правдоподобных ограничений объемов ресурсов, информации и сроков он будет наилучшим для противника и наихудшим для нас. По-видимому, это не единственный вид стратегии противника, который следует рассматривать. Требуют исследования также и некоторые неоптимальные стратегии. Заметим, что анализ неоптимальных стратегий бывает даже более сложным, чем анализ оптимальных. Если рассуждения исследователя разумны, то оптимальная стратегия может оказаться единственной; но очевидно, что всегда существует много менее удовлетворительных стратегий. Какую из них следует рассмотреть?

По крайней мере, одна из них заслуживает пристального внимания. Стратегию этого типа можно назвать «инертной» — это такая стратегия, при которой противник, несмотря на изменения обстоятельств, и в частности вашей собственной стратегии, продолжает действовать так же, как он действовал ранее. Бюрократический аппарат обладает большой инертностью, и было бы большой ошибкой недооценивать это обстоятельство. Например, обе великие державы в пятидесятые годы проводили совершенно неверную политику создания баз. Выше указывалось, что было бы неразумно основываться только на предположении, что действия противника будут глупыми или неэффективными. Но большой ошибкой было бы игнорировать эту возможность и оказаться не в состоянии использовать упущения противника. Когда вы работаете над проблемой ограничения ущерба, наносимого городам в случае нападения, эта проблема очень трудна, если противник действует разумно, но вы можете избрать решение, которое позволит одновременно обеспечить приемлемую результативность обороны в случае хорошо спланированных действий и высокую результативность, если противник будет упорно придерживаться старого. Инертная стратегия важна как рубеж достигнутого уровня развития, но она не обеспечивает высокой эффективности действий. Для большей надежности Достижения положительного результата необходимо предполагать стратегию противника совершенной и использовать ее, отрабатывая противодействие по принципу «минимакса».

В приведенном примере мы рассматривали противника в привычной роли, когда он находится в конфликте с нами. Далее мы рассмотрим некоторые случаи, когда его интересы совпадают с нашими; в его интересах может быть не начинать нечто такое, в чем обе стороны могут понести пятидесятимиллионные или еще большие потери. Только потому, что у противника есть с нами подобные общие стремления, сдерживание может оказаться успешным. Это вновь приводит нас

к рассмотрению мер сдерживания.

7.9. Малая ценность взаимно неудовлетворительных стратегий

Мероприятия, обеспечивающие высокую надежность в разрушении населенных центров или военного потенциала противника, будут мощным средством сдерживания. Если такие мероприятия будут для нас возможны, то они удовлетворяют нашим самым главным целям, поскольку уменьшают вероятность возникновения войны и в то же время являются мощным средством страховки на случай ее возникновения. Хотя в некоторых жизненно важных областях такие мероприятия возможны, это не всегда осуществимо. Поэтому полезно иметь в виду и такие мероприятия, которые не позволяют полностью гарантировать высокие боевые возможности в войне.

Выше, описав иерархию возможных целей, мы перечислили некоторые наиболее вероятные из них. Вторая цель в этом перечне состояла в достижении высокой надежности сохранения наших городов после внезапного нападения противника при любых обстоятельствах. Допустим, что, говоря о высокой надежности, мы имеем в виду уверенность, что это произойдет в 90 случаях из 100. Другая цель этого типа, практически более достижимая, состоит в том, чтобы большая и мощная часть стратегических авиационных сил не была бы уничтожена при внезапном нападении противника.

У противника также есть некоторые цели, симметричные по отношению к нашим. Он не решится начать войну, если не будет твердо уверен, что сможет разрушить количество наших городов, достаточное для серьезного уменьшения нашего военного потенциала. Еще более очевидно, что он будет колебаться, прежде чем решится на внезапное нападение, если после этого нападения наши стратегические ударные силы будут в состоянии нанести ответный сокрушительный удар. Итак, допустим, что мы хотели бы сохранить наши ударные силы с высокой надежностью (по крайней мере в 90 случаях из 100). Противник хотел бы с такой же надежностью разрушить наши стратегические силы. Предположим далее, что мы приняли меры, обеспечивающие сохранение некоторой части стратегических сил с высокой надежностью, и разработали другие меры, обеспечивающие сохранение оставшейся значительной части с надежностью в 50%. Очевидно, что эти дополнительные меры не отвечают нашим главным целям. С другой стороны, следует заметить, что эти меры не дают противнику осуществить его стремления с вероятностью более чем в 50%. Они превращают внезапное нападение в рискованное предприятие и служат средством сдерживания. (Если бы во времена Пирл-Харбора мы использовали наши недостаточные средства воздушной разведки таким образом, чтобы неприкрытым оставался не один известный подход, а отдельные, случайные и непредвиденные места на всех подступах, то и нам, и японцам пришлось бы вести игру, связанную с большим риском.) Очевидно, что, когда мы не располагаем возможностью проведения высоконадежных мероприятий, подобные, хотя и менее надежные меры приобретают большое значение. Насколько существенны различия между высоконадежными и малонадежными мерами? Составляют ли два или три малонадежных мероприятия одно высоконадежное? — Не обязательно. Принимая малонадежные меры, мы, скорее, стремимся уменьшить вероятность успешного решения намеченной противником задачи, чем увеличить вероятность решения собственных. Один из способов, при помощи которого мы можем уменьшить вероятность успеха некоторой конкретной стратегии нападения противника, состоит в том, чтобы увеличить разброс результатов, даже если мы не изменим средний результат. При этом может увеличиться риск для противника, что, возможно, способствует его сдерживанию. Но это увеличение разброса результатов означает тем самым уменьшение надежности наших мероприятий.

Следовательно, наши главные цели не достигнуты. Это одна из причин, заставляющая нас изыскивать и проводить высоконадежные мероприятия. Они не могут быть заменены малонадежными

мерами. Но систематически изучать тот класс менее важных мер очень важно, особенно если не можем найти средства удовлетворения наших более детолюбивых желаний.

7.10. Неопределенность и определение диапазона достижимых целей

Малонадежные меры служат примером возможности использования неопределенности. Выше было достаточно сказано о том, что неопределенность является центральной проблемой при выполнении анализа систем независимо от того, полезна она нам или причиняет одни неудобства. (Большинству авторов этой книги пришлось побороться этим «зверем».)

Мы не можем точно определить, что именно хотим сделать мы (и, разумеется, нам неясно, что мы можем сделать) и может сделать и сделает противник и в какой обстановке, физической и политической, будут совершаться наши действия. Каким же образом нам поступать с каждой из этих видов неопределенностей при исследовании систем? О том, как учитывать намерения и возможности противника, было кое-что сказано выше. Но что нам делать с главной из этих неопределенностей — неопределенностью в постановке наших целей? Ответить на этот вопрос, вероятно, несколько легче, чем на другие.

Существует несколько способов подхода к проблеме постановки цели в анализе, которая была бы пригодна для работы и представляла бы определенный интерес при выработке линии поведения. Есть большой соблазн попросту обойти эту проблему. Можно, например, сделать цель достаточно узкой, чтобы легко произвести оценки и упростить анализ, но тогда цель может оказаться слишком узкой, чтобы представлять какую-либо практическую ценность. Некоторые из исследований, проведенных в ходе работ по созданию B-36, иллюстрируют это положение. Очевидно, что цель будет поставлена слишком узко, если мы выберем какую-то одну из летно-тактических характеристик и будем стараться максимизировать ее при наличии некоторых ограничений, например, если мы попытаемся создать наиболее скоростной самолет или самолет с самым большим радиусом действия.

В пятидесятые годы в пределах ограничений, определяемых состоянием двигателестроения и конструкцией планера, можно было создать самолет, способный пролететь в оба конца примерно 14000 *км.* Однако такой самолет без учета полезной нагрузки, скорости полета и т.д. вряд ли был бы полезен для выполнения боевых задач. Мы могли бы задать некоторые минимальные значения для скорости, высоты, полезной нагрузки и т.д. и затем решать проблему о максимальном радиусе действия при этих условиях. Мы могли бы избрать другой путь и пытаться обеспечить максимальную скорость при определенных минимальных требованиях к радиусу действия и другим летно-тактическим характеристикам. Оба пути просты, но при этом у нас нет метода, позволяющего сделать выбор между ними и, кроме того, у нас нет способа, позволяющего определить минимальные ограничения не максимизируемых нами характеристик. Поэтому выбор общих тактических характеристик для стратегических бомбардировщиков не может быть сделан так просто.

Второй путь ухода от проблемы состоит в том, чтобы действовать прямо противоположным образом и поставить всеобъемлющую цель, которая, однако, неизбежно будет бессодержательной. Мы поступаем так, например когда формулируем критерии, пригодные, на первый взгляд, для исследования системы при различных случайных событиях, но не работоспособные на самом деле из-за наличия какой-либо переменной, определить которую с достаточной степенью конкретности, необходимой для принятия решения, невозможно. Легко задать критерии для выборов наилучшей системы, изучая максимально возможные характеристики при различных случайных событиях, каждому из которых приписана некоторая вероятность. В одном случае такими событиями могут

быть возникновение войны в следующем году, или через год, или через два года и так далее. В другом случае это может быть отпадение Англии, Ливии, Канады, одного из 48 наших старых штатов и серия подобных катастроф. Но если наш выбор зависит от того, сможем ли мы найти *точные численные значения* вероятностей таких событий, то с подобной постановкой вопроса мы далеко не уйдем, так как никто не знает, как это сделать. (Следует признать, что проблема приобретает иной аспект, если мы сможем найти или построить системы, выбор между которыми зависит только от очень большого неравенства некоторых таких вероятностей.)

Однако наши предостережения относительно узких критериев не являются несовместимыми с их использованием в качестве промежуточного шага при постановке пригодных Для работы и полезных целей. В действительности это один из самых полезных путей для постановки приемлемых и полезных целей в исследованиях систем. При анализе воздушной обороны в корпорации РЭНД иногда пользуются в этом смысле принципом «лучшее — враг хорошего». Промежуточные критерии дают нам возможность сравнивать большие подгруппы альтернативных видов оружия и отсеивать из них наиболее неэффективные. Такие сравнения следует производить тщательно и только между системами, сходными по отношению к более широким оптимизациям.

Например, при анализе воздушной обороны можно непосредственно сравнивать различные типы оборонительного оружия с дальностью действия от 30 до 50 *км* или типы оружия с дальностью действия от 400 до 600 *км.* Нельзя, однако, сравнивать между собой боевые возможности оружия с дальностью 40 и 400 *км.* Аналогично в исследовании выбора воздушной базы, проведенном корпорацией РЭНД, в качестве одного из нескольких промежуточных критериев использовалось «максимальное количество объектов противника, разрушенных при противодействии обороны противника (но без учета нападения противника)», а в качестве другого «максимальное количество бомбардировщиков, уцелевших на земле после нападения противника».

В некоторых случаях системы можно было с пользой сравнивать по этим признакам, даже если ожидалось, что более широкая оптимизация окажется для них по-разному успешной, так как различие между системами усиливалось, когда брали более широкий критерий и вводили некоторые дополнительные переменные. Иными словами, в некоторых сравнениях, пользуясь промежуточными критериями, можно рассуждать по усилительному принципу, т.е. систему, наилучшую при некоторых неблагоприятных для нее обстоятельствах, можно с тем большей уверенностью считать наилучшей при некоторых других более благоприятных обстоятельствах. Однако таким промежуточным критериям нельзя в полной мере доверять.

Возьмем, например, в качестве критерия максимальное количество бомбардировщиков, уцелевших на земле после нападения противника. Этот критерий пренебрегает наступательной функцией стратегических сил (так же как и другой промежуточный критерий пренебрегает оборонительной функцией). Поэтому несложно создать на основе этого критерия систему, которая выглядела бы вполне удовлетворительной, но не преуспела бы в выполнении основной стратегической задачи. Мы могли бы рассмотреть систему, в которой отдельные части стратегических бомбардировщиков были бы рассредоточены и находились где-нибудь в Антарктике, далеко за пределами досягаемости бомбардировщиков противника. Наши бомбардировщики в этом случае были бы в полной безопасности. Но и противник тоже.

Это, конечно, крайний случай, но и при исследовании систем часто рассматривается только предельная форма их действия. В некоторых не столь предельных формах операций дальнего действия пришлось бы для приобретения самолетов-заправщиков отказаться от бомбардировщиков в количестве, большем, чем то, которое могло бы уцелеть на базе при таком ее удалении от противника. Аналогичные трудности возникают с некоторыми предельными формами

рассредоточения и прикрытия. Мы должны, таким образом, использовать более широкий критерий, учитывающий то обстоятельство, что, прикрывая Стратегическое авиационное командование, мы защищаем силы нападения, и поэтому мера результативности любой обороны должна отражать способность к выполнению функций нападений. Одним из таких общих критериев являются «наименьшие расходы для разрушения любой заданной системы объектов противника (или максимальное количество объектов противника, разрушенных при фиксированном бюджете) с учетом как наступательных, так и оборонительных действий противника». Наши стратегические силы, размещенные в Антарктике, не удовлетворили бы такому критерию (так же как и другие не столь крайние предложения).

Эта развертывающаяся иерархия критериев может быть связана с приведенным ранее примером. На рис. 7.1 и 7.2 представлена последовательность целей формально обозначенного, но конкретно не определенного подрядчика и военно-воздушных сил и неограниченная последовательность все более и более объемлющих систем. Аналогично, последовательность критериев, каждый из которых полезен на уровне соответствующей стадии работы, может быть следующей:

1) минимальные расходы на бортовую радиолокационную станцию с заданными параметрами;

2) максимальная вероятность поражения при заранее определенном количестве перехватчиков, участвующих в отражении налетов;

3) максимальный потенциал территориального поражения;

4) максимальное количество наших бомбардировщиков, уцелевших после нападения противника;

5) максимальное количество разрушенных объектов противника с учетом наступательных и оборонительных действий противника.

Нет нужды останавливаться на этом. Как было подчеркнуто выше, если мы должны принимать во внимание проблемы, которые побуждают ВВС стремиться к операциям дальнего действия, следует еще больше расширить наши критерии. Мы должны рассмотреть эффективность различных систем при разнообразных событиях и рассмотреть не только ожидаемый случай, но и случайности, от которых ВВС хочет застраховаться, даже если они и не произойдут, как те события, для страховки от которых предназначался B-36. Более подробно о планировании в условиях неопределенности будет сказано в заключительном параграфе этой главы.

Помимо неопределенности в постановке наших целей и выборе критериев оценки результата необходимо принимать во внимание и некоторые другие виды неопределенностей. Некоторые из них, например, погода, вряд ли вообще могут быть разрешены, так как в ближайшем будущем не представляется возможным управлять погодой в мелких или крупных масштабах так, чтобы она была различной для союзников и для противников.

Другие неопределенности могут быть разрешены в результате испытаний и накопления информации. Например, не так давно не были известны законы поведения механических конструкций при очень больших перегрузках. В результате анализа было установлено, что высокопрочные конструкции могут иметь большое военное значение. В результате подобного анализа систем были проведены специальные опытно-конструкторские работы, позволившие оценить возможности и стои-

мость создания конструкций, устойчивых к высоким давлениям. В данном случае результатом анализа стала программа работ, направленная на разрешение одного из видов неопределенностей.

Если одни виды неопределенностей могут быть разрешены, то другие не могут, и, следовательно, проблема неопределенности остается главной проблемой любого исследования систем.

7.11. Проектирование систем в сравнении с анализом систем

Можно ли считать, что многочисленные неопределенные ситуации, упомянутые выше, делают анализ невозможным или, во всяком случае, бесполезным? Не проявляем ли мы излишний оптимизм, надеясь найти из миллионов альтернатив одну оптимальную? Может показаться, что преимущественность можно установить только чудом.

Нужно напомнить, что эти неопределенные ситуации составляют проблему, существующую не только в воображении исследователя, но и в действительности. Фактическая неопределенность политических и физических окружающих условий, разнообразие и неустойчивость наших целей, многочисленность и неопределенность препятствий, которые может воздвигнуть противник, указывают на то, что мы должны создавать системы, которые будут удовлетворительными или жизнеспособными при самых разнообразных обстоятельствах. Это означает, что задача заключается в том, чтобы изобретать гибкие и прочные системы, а не просто рассматривать предложенные в свое время системы и сравнивать их между собой. Изобретательность в проектировании систем имеет два назначения. Первое — оказать помощь руководителю в решении проблемы готовности ко многим случайностям. Второе, что наиболее важно для самого исследователя,— это упростить анализ.

Приведем пример, показывающий, как это происходит на практике. В ходе широкого исследования бомбардировочных систем приходилось рассматривать вопрос об уязвимости отдельных элементов системы при полете бомбардировщиков противника. Одним из таких элементов являются взлетно-посадочные полосы (ВПП). Создание модели, описывающей уязвимость ВПП, значительно усложнится, если мы будем вынуждены рассматривать не только такие вопросы, как максимальная длина уцелевшего участка полосы, но и вопрос о том, сохраняются ли неповрежденные рулежные дорожки, обеспечивающие выход самолета на уцелевший участок ВПП. Пользуясь программой для вычислительной машины, решающей задачу о случайном бомбометании методом Монте-Карло, мы должны были бы заставить машину исследовать большое количество возможных путей доступа и, совершая тысячи испытаний случайных бомбометаний в качестве составной части более обширного исследования, могли бы сделать расчеты несоразмерно дорогостоящими.

Один из путей решения этой проблемы состоит в строительстве такого числа рулежных дорожек, при котором вероятность отсутствия выхода на неповрежденный участок ВПП была бы мала. Увеличение количества рулежных дорожек не требует больших затрат не только по сравнению с общей стоимостью бомбардировочной системы, но и по сравнению со стоимостью отдельной базы. Если мы увеличим их количество, то получим более надежную систему из взлетно-посадочных полос и рулежных дорожек. Это создает уверенность в ее живучести и одновременно упрощает общий анализ так, что приближенный расчет требуемого количества рулежных дорожек делает излишней затрату больших усилий на разрешение общей проблемы выхода самолета на неповрежденный участок ВПП. Еще более мощным средством может быть использование ракетных ускорителей, чтобы совершать взлет с коротким разбегом или с места. При этом необходимость исследования взлетно-посадочных полос может отпасть полностью.

Анализ систем с большой живучестью достаточно прост. Анализ плохих, малонадежных систем также не вызывает большого труда. По-настоящему плохие системы не требуют больших затрат

времени на анализ, поскольку нет, например, необходимости оценивать живучесть самолета при поражении его топливной системы.

Если общая живучесть сложного объекта зависит от живучести многих его элементов, то вероятность сохранения его боеспособности при бомбометании будет мала и примерно равна вероятности поражения противником одного из критических для общей жизнеспособности системы элементов. При более тщательном анализе можно было бы точно оценить степень полезности сохранившихся элементов системы. Но это не стоит труда; и так очевидно, что система плоха.

Точно так же, если мы создаем систему, в которой вероятность выхода из строя при бомбардировке с разумными пределами интенсивности какого-либо из ее критических элементов будет невелика, то вопрос о взаимном влиянии живучести элементов становится несущественным.

В ряде случаев для создания большей уверенности в живучести системы можно пойти на не вызывающую больших затрат определенную избыточность в ее конструкции.

При анализе возникают сотни подобных проблем. Всегда важно не принимать системы такими, как они получились, а совершенствовать их, устраняя обнаруженные при анализе причины их недостаточной эффективности.

Существуют ли какие-либо общие принципы создания живучих систем? Не существует рецепта изобретательности, и создание военных систем должно следовать эмпирическому характеру военных проблем. Но некоторые из них настолько часто встречаются, что можно дать общие для них рекомендации. Мы упомянем две из них. Первая состоит в том, чтобы использовать существенные различия в требованиях, предъявляемых к системам в военное и мирное время. Мы можем назвать это «принципом различия между термоядерной войной и миром». Вторая состоит в том, чтобы при разработке стратегических систем воспользоваться различными требованиями к участкам полета вне зоны и в зоне действия ПВО противника. Это «принцип наибольшего накала в зоне боевых действий». Приведем пример системы, в которой второй принцип использован очень изобретательно.

При определенном уровне развития техники и при заданных размерах самолета увеличения скорости можно достичь только за счет уменьшения дальности действия. Сверхзвуковые скорости очень полезны для уменьшения потерь в зоне действия истребителей противника, но не столь важны для длинного участка полета между нашими базами и границей зоны ПВО противника. В проекте самолета B-58 хитроумно сочетается наше стремление к максимальной дальности и к высокой скорости, поскольку он обладает способностью к «сверхзвуковому рывку», которая достигается применением двигателей с форсажными камерами, используемыми только при прорыве зоны ПВО противника. Таким образом, фактически становится возможным получить все выгоды, предлагаемые сверхзвуковыми скоростями и большой дальностью полета, характерной для обычных самолетов.

Можно привести много примеров систем оружия, с выгодой использующих различия между миром и термоядерной войной. Рассмотрим пример с укрытиями для ракет или самолетов от атомного нападения. В неопределенно долгий мирный период укрытия подвергаются действию тех же сил, что и гражданские сооружения в той же местности. При короткой атомной кампании им придется вынести гораздо большие нагрузки, но только один или два раза. При разумном проектировании следует принимать во внимание это различие. Допустимые нагрузки в военное время могут превосходить пределы упругости используемых строительных материалов и вызывать деформации, недопустимые в гражданских сооружениях или в многократно используемых военных со-

оружениях. Они, однако, не повредят выполнению укрытиями их военной задачи. Можно привести и другие примеры систем, в которых используются существенные различия между требованиями мирного и военного времени.

Ранее в связи с проблемой создания самолета с ядерными двигателями говорилось, что проблему защиты от облучения летного и наземного экипажей самолета можно разрешить, используя эти различия. Еще один пример: бомбардировщики, производящие дозаправку топливом на земле, гораздо более полно используют эти различия, чем бомбардировщики, производящие дозаправку в полете. В системах, использующих дозаправку топливом в полете, приходится в военное время перевозить горючее — самый дешевый и самый объемный элемент системы оружия по воздуху на большие расстояния. В системах, использующих дозаправку топливом на земле, горючее перевозят на большие расстояния за океан в мирное время медленным морским транспортом и только во время войны или маневров, как правило, переправляют его на самолетах. Некоторые методы рассредоточения заправочных баз хорошо используют это различие, позволяя сокращать расходы по организации снабжения и эксплуатации в мирное время и сокращать время рассредоточения, столь важное в военной обстановке. Самолеты, способные при крайней необходимости взлетать с помощью ракетных ускорителей, также используют это различие.

Как обстоит дело с возможностью создания систем, способных удовлетворительно действовать в непредвиденных обстоятельствах? Пример самолета B-36 демонстрирует стремление ВВС иметь средство гарантии на случай неблагоприятно развивающихся политических или военных событий. То, что это верная мысль, становится очевидным, если вспомнить подчеркнутые выше неопределенные ситуации.

Ч. Хитч уже указал пути учета неопределенностей на примере разрешения одной из неопределенностей в процессе разработки самолета B-36. Мы воспользуемся его примером и разовьем некоторые его рассуждения. В табл. 7.3 указаны две системы, более или менее связанные с бомбардировщиками, имевшимися в нашем распоряжении в пятидесятые годы; одна из них зависит от заморских баз, а другая состоит из бомбардировщиков с очень большой дальностью полета. Таблица показывает, как действуют обе системы при следующих двух условиях: а) при доступных заморских базах и б) без них. Мы расширим как перечень альтернативных систем, так и перечень альтернативных случайных событий. Это сделано на рис. 7.3, где показано также, как будут действовать системы при некоторых случайных событиях.

Таблица 7.1 — Объекты, разрушенные гипотетическими бомбардировочными силами

Система	П р и	П р и		
С и с т е м а , з а в и с я щ а я о т заокеанских баз	100	20	92	20
	50	50	50	5 0 (минимакс)

Случайные события, указанные на рис. 7.3, связаны не только с метеорологическими условиями, но и с расстояниями от территории противника; это потеря всех баз в пределах 450 *км* (1 морск. миля равна 1,6 *км*) от границ противника, потеря всех баз в пределах 800 *км* и т.д. для не-

скольких дискретных областей.

Возможна и другая схема потерь баз. Можно предполагать, например, потерю всех баз в пределах одного политического района, но и этого примера нам будет достаточно. Прежде всего можно заметить, что перечисленные случайные события, хотя они составляют всего лишь небольшую подгруппу из всех возможных, гораздо более обширны, чем приведенные в таблице. Обладание всеми заморскими базами или полное отсутствие их — это крайние случаи. У нас есть очень много баз в различных странах. Хотя политика этих стран отнюдь не является полностью независимой, значительный элемент независимости все же имеется. Вероятность того, что мы потеряем все такие базы, включая, скажем, и те, что находятся в Канаде и штате Мэн, существует, но она очень мала. Мы включили в рассмотрение возможное отпадение штата Мэн, чтобы показать, что возможно все: мы не можем быть полностью уверены даже за нашу базу в Лаймстоуне.

Можно заметить, что перечень альтернативных систем, действующих в этих переменных обстоятельствах, хотя и длинен, но также ни в коей мере не исчерпывающий. В него

123

[32]

45

Очень хорошая *Плохая* *Очень плохая*

Хорошая *Удовлетворительная*

Рис. 7.3. Некоторые бомбардировочные системы и возможные ситуации при потере баз.

включены некоторые системы, которые могут действовать только при «благоприятной» погоде. Это, например, будет верно в буквальном смысле для системы, состоящей из одних истребителей-бомбардировщиков с ограниченным радиусом действия, не предусматривающей использования специальных самолетов-заправщиков, или превращения своих бомбардировщиков в заправщики, или таких мер отчаяния, как полет на полную дальность без возвращения. Результат ее деятельности, если мы располагаем базами в пределах 450 *км* от территории противника, будет очень плохим при плохих метеоусловиях и очень хорошим при хорошей погоде; даже при хорошей погоде результат будет плохим, если мы отступили за 450 *км,* и при любой погоде он будет очень плохим, если нас оттеснят еще дальше.

В этом перечне имеются также некоторые системы, которые как бы постоянно одеты в водонепроницаемый костюм подводного пловца и носят еще вдобавок «галоши и зонтик». Такие системы полезны при дождливой погоде, но в хорошую погоду они довольно неудобны. Примером таких систем могут служить межконтинентальные системы, в которых либо вообще не используется дозаправка топливом, либо используется дозаправка топливом только в воздухе; эти системы неэффективны при ограниченном бюджете независимо от того, какие базы имеются в нашем распоряжении, так как они построены исходя из предположения, что дальность их действия всегда будет максимальной. По-видимому, наилучшим примером таких систем являются системы, которые могут действовать только на полную дальность без возврата на свою территорию.

Эти примеры описывают две крайности, которые имел в виду Ч. Хитч: его «минимаксную» си-

[32] Город в штате Нью-Йорк. *(Прим. ред.)*

стему[33] и систему с максимальным ожидаемым результатом. Эти примеры показывают несовершенство обоих крайних решений по сравнению с другими альтернативами. Как указал Хитч, и минимаксная система, и система с максимальным ожидаемым результатом являются плохими. Последняя совершенно не подготовлена к худшему случаю и, вероятно, может стать бесполезной при малейшем признаке дождя. Первая подготовлена только к худшему случаю и не может использовать преимущества, которые возникнут в любых из многих более вероятных и более благоприятных обстоятельств. Более того, как уже подчеркивалось ранее, мы не определили, что собой представляет худший случай и какова должна быть система, которая с наименьшими расходами выполнит свою задачу при такой катастрофе. Мы предположили, что штат Мэн, по-видимому, не отпадает и что Лаймстоун, по-видимому, останется в наших руках, но какие другие бедствия мы можем еще предусмотреть? Можем ли мы быть абсолютно уверенными в Омахе ? Существует реальная проблема определения максимального бедствия, которое мы хотим свести до минимума, но в спокойные минуты нам следует признать, что некоторые события, о которых мы говорили в этой связи, например политическое отпадение штата Мэн, не очень вероятны и также не полностью поддаются контролю противника.

Мы проведем различия между несколькими типами неблагоприятных обстоятельств. Одни из них, например нападение противника с намерением уничтожить наши базы, зависят от решений противника. Если наши базы очень слабы, то нападение, вероятно, может быть успешным. Этот тип событий нельзя рассматривать как неудачное стечение обстоятельств. Мы можем рассчитать возможности противника и учесть результат нападения при анализе систем. Такие события можно назвать системными. Пути их учета в анализе мы уже рассматривали.

Другой вид неблагоприятных событий мы обычно имеем в виду, когда говорим об учете в ходе планирования случайных непредвиденных событий. Типичным примером таких событий служит погода, настолько плохая, что она лишает нас возможности вылета с ряда баз. Такие события не подчиняются контролю ни с нашей стороны, ни со стороны противника и они рассматриваются как неблагоприятное стечение обстоятельств или как несистемный фактор. К нему нужно быть готовым, но следует напомнить, что здесь мы ведем противоборство с природой, а не с противником. Когда мы сталкиваемся с умным противником, то разумно предположить, что он выберет наилучший из известных и доступных ему альтернативных путей, чтобы использовать наши слабые места. Природа, однако, несмотря на некоторые доказательства в пользу противоположного, представленные в рассказах Турбера[34], все же не злонамеренна.

С позиций планирования политические неожиданности находятся где-то посередине между природными бедствиями и нападением противника, но ближе по характеру к первым. Последствия дипломатических ходов не поддаются системному предсказанию в отличие от результата взрыва бомбы на конкретной взлетно-посадочной полосе. Но, как и метеорологические условия, их возможность следует принимать во внимание. Чтобы учесть их, нам нет необходимости приписывать точные численные значения вероятности отпадения одного из наших союзников. Мы должны уметь грубо наметить пределы этих вероятностей и вынести некоторые суждения, например: 1) вероятнее всего, что в ближайшие десять лет или подобный срок мы потеряем по крайней мере несколько из наших ста с лишним баз; 2) менее вероятно, что мы потеряем все базы; 3) Новая Англия политически надежна как место для размещения баз.

Важно, однако, быть готовыми не только к наиболее вероятным, но и к некоторым менее вероятным событиям. Это вопрос обеспечения гарантий. Разнообразные системы, указанные в перечне

[33] Заметим, что этот тип «минимаксимизации» отличается от рассмотренного ранее. Раньше мы исследовали методы минимизации максимального урона, который может быть нанесен умным противником

[34] Город в штате Небраска. *(Прим. ред.).*

альтернатив на рис. 7.3, обеспечивают различную степень гарантии при непредвиденных событиях. Кажется маловероятным, что однотипные системы будут оптимальными в различных сложных и неопределенных обстоятельствах, с которыми могут встретиться Соединенные Штаты. Делая выбор системы для разработки, благоразумно застраховаться и разрабатывать больше, чем мы хотели бы приобрести . На это указывал Хитч и другие авторы.

Это означает, что мы откладываем окончательный выбор системы для внедрения в производство на более поздний срок.

Такая тактика откладывания решения используется не только при выборе направлений разработки систем, но также и при выборе любой гибкой системы на любом этапе цикла ее разработки, приобретения и эксплуатации. На рис. 7.3 показано несколько систем, которые могут действовать различным образом при соответствующих обстоятельствах. Когда мы приобретаем одну из таких систем, мы оставляем выбор путей ее применения до тех пор, пока одно из таких событий не произойдет.

В альтернативные системы, показанные на рис. 7.3, заложен третий принцип -«принцип многоцелевого применения». Обеспечение гибкости означает затяжку окончательных решений. Может создаться впечатление, что задача анализа систем состоит не столько в помощи при подготовке решения, сколько в воздержании от него. Не поведет ли это к тому, что Гамлет станет моделью современного генерала? Гамлет, в конце концов, принял решение; то же предстоит сделать и нам. Идея сохранения гибкости в решениях состоит не в том, чтобы откладывать решения, а в том, чтобы мы не принимали его преждевременно. Решение означает выбор одного пути действия из многих; оно закрывает путь другим альтернативам.

Насколько совместима необходимость принятия решения с необходимостью развивать гибкие системы, жизнеспособные при самых различных альтернативных обстоятельствах? Ответ заключается в том, что гибкая система не включает все альтернативы путем их простого сложения. Это простейшее из возможных их сочетаний. Из-за бюджетных ограничений, даже если выбираем для каждого альтернативного события один тип системы оружия, мы, вводя его в нашу совокупность систем, автоматически жертвуем некоторым количеством единиц других систем оружия. Система, которая будет удовлетворительно решать свои задачи в различных обстоятельствах, хороша именно потому, что она дает нам возможность действовать в определенных обстоятельствах, не жертвуя чрезмерно своей эффективностью в случае иных событий. Она будет хороша, например, если дает нам возможность действовать в различных обстоятельствах и вместе с тем исключит необходимость создания какой-либо специальной системы. В нашем списке этим свойством обладают системы, которые можно многократно использовать с одной и той же целью.

На рис. 7.3 перечислены различные виды стратегических бомбардировочных систем, одни из которых состоят из самолетов одного типа, другие представляют собой совокупность различных типов бомбардировщиков, каждый из которых может использоваться в различном диапазоне условий, а третьи состоят из многоцелевых бомбардировщиков. Выбирая между этими бомбардировочными силами, важно рассмотреть их характеристики во всех представляющих интерес обстоятельствах, а не только в каком-нибудь одном. Это означает, что мы должны рассматривать не только ожидаемый вариант, но и возможность использования его в непредвиденных обстоятельствах, от последствий которых мы хотим застраховаться. Это означает также, что недостаточно страховаться только на случай возникновения непредвиденных обстоятельств — даже когда мы рассматриваем систему оружия, которая в первую очередь была задумана как средство страховки,— ибо могут быть и альтернативные средства. Всегда полезно задать вопрос, не могут ли некоторые из этих страховочных средств быть использованы в других, вполне вероятных обстоятельствах. Таким

образом, существует взаимосвязь между целью страховки и другими целями. Предположим, что у нас есть две системы, которые одинаково хороши, когда они действуют с территории Соединенных Штатов, но одна из них гораздо лучше другой в предположении, что Канада остается нашим союзником. Очевидно, что вторая система будет предпочтительнее, если у нас нет стопроцентной уверенности в том, что мы лишимся всех наших союзников. Наш выбор будет еще очевиднее, если эти системы будут обладать характеристиками, свойственными двум последним системам из показанных на рис. 7.3.

Обратимся теперь к двум другим из упоминавшихся выше событий. Рассмотрим случай, когда первый удар наносит противник и когда первый удар наносим мы. Многие полагают первый случай более вероятным, другие настроены более оптимистично. В любом случае ясно, что мы далеки от уверенности. Мы видели раньше, что системы, которые выглядят вполне удовлетворительными, в случае первого удара противника (предположим, по нашим союзникам) могут быть непригодными для действий в других условиях. Создание системы, которая хорошо выполняет свою задачу в этих обоих случаях, приобретает, таким образом, большое значение. Такая система может, например, предупредить существенный ущерб нашему обществу, если мы нанесем ответный удар неповрежденными стратегическими силами при нападении противника на наших союзников. В любом случае противнику будет ясно, что, даже если он нанесет удар непосредственно по нашим стратегическим силам, его собственные военные и гражданские объекты могут быть разрушены. Такая система является надежным средством сдерживания от нападения на Соединенные Штаты. Она может обеспечить некоторую гарантию и на тот случай, если сдерживание окажется безуспешным. С другой стороны, как указывалось ранее, способность к предупреждению неожиданностей повышает надежность политики сдерживания.

Описанная система обладает преимуществом перед другими системами, показанными на рис. 7.3 и описанными ранее. Но такое преимущество не создается случайно, оно является следствием тщательной разработки.

Работа по созданию таких многоцелевых систем требует изобретательности в построении элементов системы, системы в целом и принципов ее использования. Такая изобретательность полезна, даже если речь идет только о небольших системах, о которых мы привыкли думать как об элементах другой, большей по масштабам, системы. Обычная математическая теория полезности предполагает наличие законченной иерархии предпочтительности. Весьма сомнительно, однако, чтобы этот постулат был реалистичным или хотя бы имел какой-то смысл, будучи применен к отдельным лицам; еще менее он применим к целым нациям. Сомнительно, в частности, что у нас есть средства для сопоставления каждой из двух выбранных наугад сложных проблем национальной обороны. В некоторых случаях мы просто не знаем, предпочитаем ли мы одну или другую стратегию или остаемся безразличными.

С другой стороны, возможны некоторые частичные иерархии предпочтительности, и в ходе изучения систем мы можем расширять их по мере того, как увеличиваются наши знания о предложенных системах, а также по мере того, как мы развиваем более объемлющие критерии, и, самое главное, как мы разрабатываем пути действия, которые обладают преимуществами по сравнению с рассмотренными ранее. Схемы предпочтительности всегда неполны и все время развиваются по мере накопления информации о располагаемых альтернативах и целях наших действий.

Приняв во внимание широкие пределы неопределенностей и другие трудности, описанные ранее в этой главе, можно задать вопрос: возможно ли, если только это не будет делом необычайной удачи, создать систему, малую или большую, которая была бы преимущественной по отношению

к ее многим миллионам альтернатив?

Если этот вопрос предполагает возможность нахождения оптимума, в смысле наилучшего из возможных, то это вопрос не по существу.

Речь идет о создании чего-то лучшего. И здесь трудности наших проблем в некотором роде превращаются в преимущества.

Решения, принятые для многих из важных проблем, могут быть неудовлетворительными. В этом не будет ничего удивительного, если вспомнить о рассмотренных нами трудностях, вызванных быстрым и непрерывным развитием современного вооружения. Последствия этих изменений сложны, трудно понимаемы и с еще большим трудом поддаются учету в практике. Организации, принимающие решения и претворяющие их в жизнь, должны быть большими, чтобы справиться со всеми деталями исполняемых ими больших программ. Но такие организации, как мы отмечали ранее, при рассмотрении возможности использования противником неоптимальной стратегии проявляют значительную инертность. Это справедливо для обеих сторон. Существующие программы могут отставать от жизни. Стратегии могут быть инертными. Поэтому для изобретательного человека, занимающегося созданием систем и в значительной степени освобожденного от деталей ежедневной работы, существует возможность изучить обширные последствия надвигающихся технических и политических изменений.

Даже если анализ систем и не может определить идеальное «лучшее» (а определение понятия «наилучшего возможного» сталкивается с трудностями, аналогичными тем, которые препятствуют определению «наихудшего возможного»), он полезен, если сможет найти систему и обосновать, что она отчетливо лучше, чем те, которые были бы приняты в других случаях. А то, что это возможно, анализ систем уже показал.

8. МЕТОДЫ И ПРОЦЕДУРЫ

Э. Квейд

8.1. Введение

Давать рекомендации по методам анализа систем не легко. Теории, откуда можно было бы почерпнуть указания, у нас нет. Этого следовало ожидать, ибо анализ систем еще более молодая наука, чем исследование операций. История учит нас, что на разработку хорошей теории в любой области необходимо время, ее нельзя создать с первой попытки.

Внимание практика, когда он обращается к методам исследований, сосредоточено главным образом на разработке математических приемов решения некоторых конкретных задач, что характерно для исследований операций, а не на создании основ теории решения широких проблем, свойственных военному планированию. Внимание к методам и техническим приемам обычно ведет к успеху. Обработка моделей, с учетом многих переменных, упрощается, и прежние трудности вычислений в исследовании операций теперь преодолеваются легко. Однако проблемы философского порядка, с которыми встречаются при доказательстве пригодности модели, при разработке схемы анализа в условиях неопределенностей или при выборе подходящего критерия, представляют значительно большие трудности. Поэтому многие важные и полезные математические методы исследования операций в книге будут рассмотрены весьма поверхностно, хотя гл. 13 дает определенное представление о природе и ограничениях этих методов. Главное внимание будет уделено основным концепциям и толкованию принципов анализа систем, т.е. именно тем областям, где как

исследователь, так и заказчик склонны чаще всего совершать ошибки.

Когда мы готовились к изложению основ анализа систем, казалось очевидным, что сначала следует изучить результаты уже проведенных по заданиям военных руководителей исследований и на основе анализа лучших работ выявить общие принципы и методы. Другими словами, мы хотели выделить идеи, которые ведут к успеху анализа. Эти попытки не увенчались успехом. Или примеров было слишком мало, или мы не проявили достаточной настойчивости, или, что теперь представляется наиболее вероятным, отсутствовало единое понимание идей. Трудно было даже решить, что считать хорошим, а что плохим.

Казалось, остался один путь — обратиться к науке. Часто спорят, можно ли исследование операций считать наукой, так как якобы их цели совершенно различны. Цели науки — выявление истины и лучшее понимание окружающего нас мира. Цели исследования операций сводятся к поиску более эффективных средств воздействия на окружающий мир, даже если для этого не требуется глубокого понимания сути явлений. Исследование операций редко занимается задачами понимания или прогнозирования процессов[35].

Имеются также некоторые различия в методах науки и исследования операций.

«Истинный ученый и специалист по исследованию операций стремятся использовать средства, называемые иногда математическими моделями исследуемого процесса. Однако для ученого такая модель является частью твердо установленной области научных знаний, а в исследовании операций модель носит *временный* характер и используется как средство для приближенного понимания. Другими словами, даже если наука и не располагает обоснованной теорией рассматриваемого явления, исследование операций позволяет построить его модель. Структура и входные величины модели могут не иметь другого обоснования, кроме интуиции и личного опыта исследователя или суждений специалиста по данному вопросу. По мере накопления экспериментальных данных исследователь операции готов отказаться от своей начальной модели и создать другую, лучшую модель. Такая последовательность решений, диктуемая чисто прагматическим подходом, является, в сущности, процессом последовательных приближений. С этих позиций исследование операций по сути своей близко к медицине, инженерному делу и большей части общественных наук.

Из такого сравнения исследования операций и точных наук становится очевидным, что исследование операций может уступать им в точности, но не в научном характере своих методов»[36].

В исследовании операций стремятся использовать научные методы. Это означает, в сущности, приверженность традициям. Научные традиции заключаются в том, что: 1) результат является следствием процесса, который может воспроизвести другой ученый и получить тот же самый результат; 2) все исходные данные, вычисления, допущения, оценки выражены точно и доступны для проверки и критики; 3) методы объективны, их выводы не зависят от личности, репутации или частных интересов; там, где это возможно, они выражены в количественной форме и подтверждены экспериментом.

Однако для исследования операций, как и для анализа систем, это все еще остается недости-

---

35 Современный американский писатель, умер в 1961 г. *(Прим, ред.)*

36 Группа северо-восточных штатов США. *(Прим. ред.)*

жимой целью.

8.2. Инженерное искусство

Анализ систем в еще большей степени, чем исследование операций, ближе к инженерному искусству, чем к точным наукам. Чтобы уяснить различие между ними, достаточно сказать, что наука выявляет природу вещей, а инженерное искусство использует результаты, добытые наукой, для создания более дешевых и лучших по качеству предметов.

Между инженерными задачами, задачами анализа военных систем или проблемами исследования операций помимо определенного сходства существует также существенное различие. Однако это, скорее, количественная, чем качественная разница. Для анализа военных систем характерны следующие качества:

1) Имеется относительно большое количество факторов, которые можно только оценить, но не измерить или проверить на практике. Рассмотрим в качестве примера задачу выбора состава комплекта запасного имущества для тактического бомбардировщика. В состав такого комплекта войдут инструменты, оборудование и запасные части, доставляемые по воздуху в расположение строевых частей. Среди множества факторов, определяющих состав комплекта, конструктор должен учитывать также характер военных действий, в которых может участвовать бомбардировщик. Однако характер будущей войны — это подлинно неопределенный фактор, его невозможно проверить экспериментом.

2) Если даже можно провести определенные измерения в процессе войсковых или полигонных испытаний, то эти данные, вероятнее всего, будут коренным образом отличаться от результатов, полученных в реальных боевых условиях.

Обратимся снова к задаче создания запасного комплекта самолета. Потребности в запасных частях в мирное время не обязательно будут совпадать с потребностями в них во время войны, для удовлетворения которых и создается комплект.

3) Период времени, после которого ответ уже не представляет никакой практической ценности, как правило, очень мал.

В наши дни оружие стареет очень быстро. Если мы истратим много времени на испытания или на обоснование требований к нашему комплекту, то мы рискуем получить ответ тогда, когда он будет бесполезен.

Сроки чрезвычайно важны для инженера, однако ограничения по срокам могут быть различными. Для ученого, занятого чистой наукой, фактор времени не имеет особого значения. Его задача — получить абсолютно достоверный результат. На это он может затратить столько времени, сколько сочтет нужным. Исследователь военных проблем чаще всего обязан представить возможно лучший результат к заданному сроку.

4) Экспериментальная проверка результатов исследования обычно невозможна. Вероятнее всего, разрабатываемый нами комплект устареет до начала войны, ибо будет создан новый, более современный самолет со своим запасным комплектом, и мы никогда не узнаем, насколько хорош или плох был первый комплект.

5) Наибольшие трудности вызывает концепция ценности. Военный анализ, как и инженерное

искусство, имеет целью оказание конкретной помощи в определенных действиях. В то же время, в отличие от большей части инженерных задач, определение целей действий, объема затрат и критериев оценки представляет большие трудности.

6) В анализе военных проблем, в отличие от анализа в гражданских областях, решающую роль играет тесная взаимозависимость между целями, альтернативами и стоимостью наших действий и действий противника, а установление взаимной связи между нашими собственными действиями, их целями и стоимостью играет относительно меньшую роль. Хотя необходимость исследования *конфликтных ситуаций* не обязательно представляет дополнительные трудности, это вводит дополнительную серию неопределенностей и значительно усложняет анализ.

Имеются также и другие, менее существенные различия.

Прежде всего, анализ систем — это инженерное искусство на высшем уровне; это можно показать на следующем примере. Инженер-химик, создавая рецепт оптического стекла, использует последние достижения химии; конструктор оптической системы рассчитывает объектив фотоаппарата на основе законов оптики, учитывая методы производства объективов и возможности, предоставляемые современным уровнем разработки составов для оптических стекол; конструктор фотоаппарата разрабатывает проект с учетом множества различных факторов, включая и возможный результат работы конструктора объектива; конструктор самолета создает проект самолета-разведчика, основываясь, среди прочих данных, на своем представлении о возможностях конструктора фотоаппарата; специалист по анализу систем разрабатывает разведывательную систему, основываясь на возможных результатах работы авиаконструктора. Естественно, между всеми участниками этого процесса должна быть тесная связь сверху вниз и снизу вверх.

Анализ военных систем может отличаться от обычной инженерной разработки прежде всего своей громадной ответственностью, скудностью и малой достоверностью исходных данных и необычной трудностью определения системы ценностей, пригодной для каждого конкретного случая. Однако не следует преувеличивать эти трудности, они, скорее, количественные, а не качественные. Все они в той или иной мере свойственны любой инженерной задаче, даже задаче постройки собачьей будки.

Вероятно, еще никто и никогда не пытался прочитать серию лекций тем, на кого работают инженеры, строители, механики или химики. Хотя вполне возможно представить полезность таких учебных курсов; важно, что их нет или они чрезвычайно редки.

Если муниципалитет приглашает инженера для проектирования моста, то его работу, возможно, проверит другой инженер. Однако «отцы города», изучая представленный проект, не исходят из предположения, что мост может развалиться. Они полагают, с большим или меньшим основанием, что строительство мостов — это уже хорошо изученная область и дипломированный инженер в этой области обладает знаниями, неизмеримо превышающими их собственные. Соответственно они доверяют архитектору и знают, что увеличение высоты моста, допустимой нагрузки, степени безопасности и срока его существования невозможно без увеличения его стоимости.

Компромиссы между этими параметрами ценности могут, в принципе, интересовать «отцов города», и в отдельных случаях они действительно их интересуют. Однако в подавляющем большинстве случаев среди них не найдется человека, способного или желающего взять на себя ответственность за глубокое обоснование этих вопросов. В то же время в проблемах создания оборонных систем, затрагивающих интересы всей страны, нельзя полагаться на чей-то опыт, поскольку такого опыта в сущности нет. Компромиссы между различными, имеющими высокую ценность фактора-

ми имеют очень большое значение для всей страны, и за них должны нести прямую ответственность высшие чиновники правительства. Даже в простейшем случае постройки моста имеется целый ряд решений, от которых могут уклониться «отцы города». Они должны учитывать требования жителей и оценивать возможности роста города, т.е. принимать те решения, в которых инженер-строитель не может быть компетентным

8.3. Методологические вопросы анализа систем

Анализ систем, особенно в виде, используемом в подготовке военных решений, является в значительной мере искусством. Обучение в некоторой степени способствует овладению искусством, но для этого недостаточно усвоить набор жестких правил, которым можно следовать механически. Поэтому в анализе систем мы должны делать то, что считаем правильным, но что нельзя строго обосновать. Справедливость наших действий нельзя подтвердить и в будущем, так как результаты анализа никогда невозможно будет проверить на практике. Мы также вынуждены использовать в качестве исходных данных множество весьма неопределенных факторов, основанных на суждениях людей, и должны давать ответы, которые сами послужат основой для других суждений. Конечно, всегда, когда возможно, эти суждения дополняются логическим и количественным анализом, но, тем не менее, они всегда остаются только суждениями.

В действительности, как анализ систем, так и исследование операций в значительной своей части являются очень полезным средством для решения проблем в таких областях, как национальная безопасность, где не существует общепринятых теоретических основ, хотя бы потому, что обе эти дисциплины позволяют вести систематический и эффективный анализ вместо случайного и бездумного использования оценок специалистов в разных областях. Сущность методов обеих дисциплин заключается в построении «модели» рассматриваемой проблемы. Такая модель, будь то игра, программа электронно-вычислительной машины или военно-политический сценарий, дает точную структуру проблемы и единство.терминов, что служит средством связи, и взаимопонимания между участниками анализа и, кроме того, вводя обратную связь (например, действия противника в военных играх), позволяет соответствующим специалистам (экспертам) получить более ясное представление о сущности рассматриваемой проблемы.

Однако между исследованием операций и тем, что мы понимаем под анализом систем, есть также существенная разница. Для большей ясности рассмотрим то, что можно считать типичной задачей исследования операций. Хотя обычно существует несколько источников ресурсов, из которых производят выбор, задачу (вводя определенные предположения) обычно можно свести к виду, где будет только одна зависимая переменная, называемая критерием или мерой ценности (часто денежная стоимость), по которой следует провести оптимизацию, вводя ряд ограничений. Соотношение между зависимой переменной и переменными ресурса выражается математически, что позволяет находить компромиссы между ресурсами. С другой стороны, типичная проблема анализа систем заключается часто в том, чтобы определить, что же собственно является проблемой? Часто бывает трудно сформулировать критерий, ибо может быть не одна цель, а несколько согласованных или противоречивых целей действий. Иногда требуется определить компромиссы не только между ресурсами, но и между целями. Более того, бывает невозможно описать связь между целями и ресурсами в виде известных математических функций или выразить их в численном виде или графически. Так как нет средств выражения соотношения между этими классами переменных, единственным источником для исследования компромиссов остаются суждениям интуиция экспертов. В анализе систем эти суждения, естественно, служат дополнением к суждениям, свойственным даже простейшим задачам исследования операций, например суждению о принципах самой проблемы. Чтобы еще больше подчеркнуть разницу между исследованием операций и анализом систем, приведем цитату из одного отчета по анали-

зу военной проблемы:

«Участников просили распространить свой опыт и образ мышления на неопределенный период в будущем, где формальные доктрины либо не содержат указаний или содержат их очень мало и где концепции будущей войны не должны обязательно быть связаны с современными видами организаций, оружием или бюджетом. *Тем самым работа этой группы не была исследованием операций.* Были представлены и рассмотрены концепции и гипотезы, которые нельзя было подтвердить фактами или цифрами или исследовать на основе опыта или эксперимента просто потому, что необходимых данных не существует». Еще одна цитата из другого источника: «Постановка целей операций и проведение действий на основе рекомендаций по существу не входят в сферу деятельности исследователя операций, а фактически являются граничными условиями, наложенными на свободу его действий»[37].

Хотя подобная деятельность выходит за рамки исследования операций, она является неотъемлемой частью анализа систем.

Отсюда очевидно, что анализ, выполняемый в интересах военных руководителей на уровне национальной политики, коренным образом отличается от традиционного представления об исследовании операций.

Один из специалистов по анализу систем выразил эту мысль следующим образом:

«Традиционная постановка задачи исследования операций заключается в максимизации одного или нескольких результатов при определенном объеме затрат или минимизации затрат, необходимых для достижения определенного результата. Эта формулировка справедлива, но не достаточна. На уровне национальной политики основная задача анализа систем заключается в исследовании взаимодействия между средствами и результатами. Подобное взаимодействие выражается в том, что-то, что является целями с одной точки зрения, является средствами с другой. То, что целесообразно сделать, часто зависит от того, что возможно сделать, или от эффективности наличных средств, и любая из предполагаемых целей является, вероятнее всего, только одной в ряду альтернативных путей решения задач еще более высокого уровня»

1. Цель (или цели). Анализ систем производят главным образом для того, чтобы предложить определенный курс действий или хотя бы оказать помощь при его выборе. Эти действия должны иметь определенную направленность или цель. Курс действий или стратегия, силы или материальная часть исследуются, сравниваются и выбираются исходя из того, с какими затратами они могут обеспечить достижение поставленной цели.

2. Альтернативы. Альтернативы представляют собой средства достижения цели. Они не обязательно должны быть взаимозаменяемыми или выполнять одинаковые действия.

3- Стоимость. Каждое альтернативное средство достижения цели использует определенные ресурсы, которые поэтому не могут быть использованы для решения других задач.

4. Модель (или модели) служит отображением исследуемой ситуации и строится для того, чтобы определить стоимость и характеристики каждой альтернативы. Модель отражает в идеализированной форме характерные свойства ситуации с помощью разнообразных средств, начиная от серии математических выражений или программ электронно-вычислительных машин до

[37] A1ain C. E n t h o v e n . Operations Research and the Design of the Defense Program, Proceedings of the Thrird International Conference on Operational Research, Dunod, Paris, 1964, p. 531–538

идеализированного описания ситуации, где суждения будут единственным средством оценки последствий выбора.

5. Критерий — это правило, или норма, по которому можно оказать предпочтение одной из альтернатив. Критерий представляет собой средство для выражения стоимости и эффективности при определении относительной ценности альтернатив.

В литературе по исследованию операций часто встречается определение, что анализ проблем в интересах руководителя представляет собой не что иное, как «научный метод» решения задач, находящихся за пределами чистой науки. Хотя, очевидно, не существует какого-то единственного метода, который можно было бы определить как «научный метод», но под этим понятием обычно подразумевают, что анализ должен включать в себя следующие этапы.

Постановка задачи — определение существа проблемы выявление целей и определение границ задачи.

Поиск — сбор необходимых сведений, определение альтернативных средств достижения поставленных целей.

Толкование — построение модели и ее использование для исследования результатов применения альтернативных средств, обычно путем оценки их стоимости и характеристик.

Рекомендация — определение предпочтительной альтернативы или курса действий, что может представлять собой сочетание характерных свойств рассмотренных альтернатив или их модификация, необходимых для учета факторов, не принятых во внимание на ранних этапах исследования.

Подтверждение — экспериментальная проверка рекомендации.

Анализ систем всегда включает в себя первые четыре этапа, но последний этап часто бывают вынуждены опустить. Для военных проблем реальный эксперимент, если не считать псевдоэкспериментов типа игр, вообще невозможен. В приведенных ниже четырех разделах рассмотрены методы исследования анализа систем в соответствии с указанными выше четырьмя этапами анализа. Многие методы анализа систем рассмотрены также и в других главах. Так, построение моделей, например, рассмотрено в гл. 4, игры — в гл. 5, а методы учета действий противника — в гл. 12. В настоящей главе во многом повторяется материал, изложенный в предыдущих главах, не только для того, чтобы подчеркнуть значение отдельных положений, но и для того, чтобы сохранить соответствующую перспективу.

Постановка задачи. В постановке задачи пытаются четко определить содержание проблемы, установить границы ее решения, выявить основные факторы, влияющие на ход рассматриваемого процесса, и определить отношение между ними. Эти отношения могут быть в высшей степени предположительными, поскольку экспериментальные данные могут отсутствовать, однако они позволяют внести ясность в логическую схему анализа.

В сущности, этот начальный этап анализа является самым важным. Рассмотрение задачи с различных точек зрения и уточнение граничных условий позволяет выявить характер (уникальный или тривиальный) задачи и определить возможные пути ее решения. Слишком часто случается, что исследователь принимает за основу первоначальную формулировку проблемы в том виде, как она была поставлена заказчиком, а затем начинает строить модели и собирать информацию, не давая себе труда подумать, какую помощь в принятии решений может принести полученный от-

вет. В действительности же, поскольку проблема относится к будущему, основная работа может состоять в том, чтобы определить возможную цель решений руководителя . Так как результаты исследования системы могут привести к серьезным изменениям не только в образе действий руководителя, но и в самих целях таких действий, было бы слишком неосторожно принять точку зрения потребителя или заказчика па содержание задачи без критического рассмотрения.

Здесь уместна аналогия с медицинской практикой. Доктор никогда не может игнорировать описание больным симптомов его болезни. Однако он не может позволить, чтобы мнение больного возобладало над его собственным профессиональным диагнозом. Но такая аналогия не может быть полностью справедливой, ибо бизнесмен или военачальник обычно знают больше, чем кто-либо другой, о задачах и основных трудностях своей деятельности.

Каким образом, однако, исследователь может убедиться в том, что его формулировка задачи является наилучшей? *Только в результате анализа.* Сам процесс постановки задачи должен стать предметом исследования. Специалист по анализу систем всегда имеет определенное представление о возможных путях решения задачи. В противном случае он просто не мог бы над ней работать, ибо его анализ был бы тогда чрезмерно формальным и абстрактным. На этом начальном этапе исследователь в сущности пытается решать проблемы до того, как установит факты. Но эта попытка дает ему основу для лучшей формулировки проблемы.

Рассмотрим один из возможных путей подхода исследователя к постановке задачи. Возьмем, например, случай выбора критерия оценки. Дело в том, что заранее почти невозможно принять хороший критерий. Реальный путь заключается в том, чтобы принять сначала весьма грубую шкалу ценностей, посмотреть, к каким решениям они приведут, и, если решения противоречат здравому смыслу, принять другую меру ценности. Представим, например, исследователя, который хочет сбросить вес и думает выбрать оптимальную диету методом линейного программирования. Он решил, что наилучшим критерием выбора диеты будет максимум объема питательных веществ при заданной норме их калорийности. Он ставит свою модель на машину, проводит расчет и получает ответ: арбуз. Он видит, что лучше принять за критерий сухой вес, чтобы исключить воду. Проделав это, он получает ответ; бульонный кубик, состоящий в основном из соли. Поскольку это не очень съедобно и может быть вредно для здоровья, ему придется сделать другой выбор, и, продолжая подобным образом, он в конце концов может найти приемлемый критерий отбора.

Сама задача также не остается неизменной. Улучшение понимания проблемы и возможностей ее развития поведет к уточнению постановки задачи. Прежде всего уже первые попытки постановки задачи могут привести к выявлению одного или нескольких путей ее решения. По мере развития исследований эти первоначальные идеи будут обогащаться и развиваться. Каждая гипотеза ведет к определенным результатам — она показывает направление поиска. Окончательная формулировка выводов и рекомендаций обычно основана на фактах, неизвестных исследователю в начале работы. Часто приходится отказываться от первоначальных гипотез и рассматривать совершенно новые. Составить себе представление о возможном решении проблемы на ранних этапах исследования не будет ошибкой. Опасность состоит в нежелании отказаться от первого варианта решения перед лицом новых фактов.

Процесс анализа есть процесс *последовательного приближения.* Он состоит из повторных циклов уточнения постановки задачи выбора целей, определения альтернативных систем, накопления данных, построения модели, сравнений стоимости и эффективности, нового уточнения постановки задачи и т.д. На рис. 8.1 показан процесс анализа систем как процесс последовательных приближений. Различные этапы показаны в виде одного цикла. Приблизительное решение, которое мы

получаем в конце первого цикла, дает нам возможность лучше поставить задачи в начале второго цикла. Таким образом, в сущности, невозможно точно определить задачу исследований, прежде чем она будет решена, или, другими словами, окончательная постановка задачи должна быть дана одновременно с получением окончательного ответа.

Характер процесса анализа систем как процесса последовательных приближений проявляется также в проблеме выбора целей. Невозможно правильно выбрать цели, не имея представления о необходимых затратах и о препятствиях на пути достижения цели. Однако такую информацию можно получить только в результате анализа.

Обычная ошибка заключается в том, что считают цели независимыми от возможностей их достижения. Однако существуют убедительные доказательства того, что цели в конечном счете чаще бывают результатом возможностей, предоставляемых альтернативами, чем причиной создания подобных альтернатив. Дело в том, что только часть последствий различных целей действий можно представить себе без специального анализа.

Военный анализ чаще всего проводится в условиях недостаточности информации о целях, критериях и категориях приоритета. Официальная формулировка национальных целей на высшем уровне, вероятней всего, или отсутствует, или выражена столь неопределенно, что не может оказать существенной помощи. В результате выдвигается идея субоптимизации, т.е. выбирают промежуточные дели и критерии для решения проблем, которые логически совпадают и являются в некотором смысле приближенным выражением проблем более высокого уровня. В условиях ограничений по времени и в рабочей силе субоптимизация будет единственно возможным подходом к решению таких проблем. Например, рекомендации по выбору определенной системы противоракетного оружия можно сделать, оценив ее возможности перехвата и уничтожения ракеты противника. Это может служить заменой задачи более высокого уровня — задачи уменьшения числа ядерных боеголовок, достигших своей цели на нашей территории. Будет ли это способствовать решению задачи еще более высокого уровня — задачи уменьшения потерь населения и разрушения материальных ценностей в случае возникновения войны,— это еще следует изучить.

Хотя многие из наиболее ценных примеров анализа систем были выполнены на основе субоптимизации, она сама по себе недостаточна и не является лучшим выходом из затруднений. В результате анализа иногда можно исключить, выявить и согласовать цели различного уровня действий.

Очень часто система может иметь несколько целей. Например, «сделать возникновение войны маловероятным, а если она разразится, то ограничить наши потери и достигнуть благоприятного военного и политического решения». Для выбора системы иногда необходимо найти метод для сравнения относительного значения конкурирующих целей. Как мы можем выбрать одну-единственную цель? Иногда целесообразно исследовать каждую из возможных целей, чтобы выяснить, не служат ли они средством достижения других целей; если это так, то такую цель можно исключить. В другом случае можно проверить связи между альтернативами и целями действий. Если окажется, что выбор одной из целей не влияет на выбор альтернатив, то такую цель также можно исключить.

В качестве одного из методов определения целей можно составить перечень альтернатив и просить человека, который должен действовать на основе результатов анализа, указать на те альтернативы, которые он согласен принять к исполнению, если анализ укажет на их оптимальность.

Если цели противоречат друг другу, т.е. если имеются разногласия по определению целей, или если человек сам не знает своих целей, тогда следует попытаться выявить цели более высоко-

го уровня, по которым имеется общее согласие. В этом случае можно будет либо провести анализ применительно к целям этого уровня, либо проверить совпадение первоначальных целей с согласованными целями высшего уровня и сделать соответствующий выбор. Единственное, чего нельзя делать, это создавать из различных целей некую групповую цель путем определения относительного значения (веса) каждой из них. Практическую нелепость подобного пути можно теоретически доказать. Если, в конце концов, все попытки уменьшить число целей закончатся неудачей, то можно рекомендовать вести анализ отдельно для каждой цели.

Характерным для анализа систем является то, что решение часто представляет собой серию компромиссов, стремящихся уравновесить и там, где это возможно, логически согласовать противоречивые цели и меры ценности. Важнее правильно выбрать цели, чем альтернативы.

Неправильный выбор цели означает неправильную постановку задачи. Неправильный выбор альтернативы может означать только выбор не самой лучшей из систем. Часто приходится удовлетворяться демонстрацией того, что предлагаемые действия в самом деле идут в нужном направлении. Это все, чего иногда можно добиться.

Для выбора альтернатив еще недостаточно установить, какие из них ведут к намеченной цели. Необходимо еще сравнить их по единому критерию. Предположим, что правилом для выбора альтернатив (альтернативы) будет решение задачи при минимальной стоимости или затратах ресурсов .

Для выбора критерия Ч. Хитч первым предложил два следующих правила:

1) критерии, используемые для решения задач низшего уровня, должны логически совпадать с критериями, используемыми на следующем, более высоком уровне;

2) чтобы критерии вели к разумному результату, необходимо исключить возможность наложения на них повторных ограничений.

В качестве примера использования первого правила рассмотрим задачу выбора числа мест для стоянки автомобилей при парке отдыха. Для лиц, в чьем ведении находится эта стоянка, она будет заключаться в получении максимального дохода от стоянки. Но этот критерий может противоречить стремлению дирекции парка получить максимальный доход от парка в целом. Сокращение площади стоянки, даже если некоторая часть посетителей не сможет ею воспользоваться из-за отсутствия мест, может дать существенную экономию в стоимости земли и оплате обслуживающего персонала и тем самым позволит увеличить общий доход от стоянки. Однако уменьшение числа посетителей из-за того, что они не нашли места для стоянки машин и были вынуждены уехать в другое место, может привести к значительным потерям дохода всего парка. Политика[38], удовлетворяющая целям высшего уровня и тем самым лучшая политика для организации в целом, может заключаться в обеспечении места стоянки автомобилей всех посетителей или даже в ликвидации платы за стоянку.

Мы не можем, однако, знать заранее, что доход от стоянки будет мал по сравнению с доходом от всего парка. Если существует вероятность, что большая часть посетителей будет пользоваться личными машинами, тогда следует серьезно рассмотреть возможность повышения входной платы, замаскировав в нее стоимость стоянки автомашин.

Для иллюстрации второго правила мы можем взять любой критерий «отношения», где огра-

---

[38] Ч. Х и т ч и Р, Маккин. Военная экономика в ядерный век. Воениздат, М., 1963, гл5..

ничения должны быть наложены для того, чтобы знаменатель дроби отличался от нуля.

Стоимость следует рассматривать как один из главных элементов выбора.

«Кроме того, в течение долгого времени в министерстве обороны существует тенденция формулировать военные требования в абсолютных величинах, не увязывая их со стоимостью. Однако военную эффективность, или военную ценность, любой данной системы оружия логически невозможно рассматривать изолированно. Ее следует рассматривать неразрывно со стоимостью, и в мире, где ресурсы всегда ограничены, следует одновременно рассматривать альтернативы для использования ресурсов. Значение военных требований можно осознать только тогда, когда определен размер выигрыша сравнительно с затратами. Таким образом, стоимость использованных ресурсов и военную ценность необходимо исследовать совместно»[39].

Более того, та стоимость, которую необходимо учитывать при выборе альтернатив, должна быть новой стоимостью, т.е. чистым приращением затрат ресурсов или «приращением стоимости», связанным с выбором данной альтернативы. Поскольку некоторые системы могут использовать технические средства, личный состав или вспомогательное оборудование, оставшееся от снятых с вооружения систем, то приращение стоимости будет меньше полной стоимости «изолированной» системы. При сравнении боевых возможностей объем затрат, необходимых для их создания, иногда можно оценить, предполагая, что стоимость различных систем не зависит от наличия других систем или других возможностей. В этом свете рассмотрим, например, сверхмощный авианосец ВМС. Если при анализе его ценности в условиях ограниченной войны не учесть его возможностей во всеобщей войне, то при его сравнении по критерию «стоимость-эффективность» с системой оружия, имеющей одноцелевое назначение, он будет несправедливо забракован.

Большое внимание следует уделить начальным условиям, т.е. тем предположениям, которые накладывают ограничения на поставленную задачу и устанавливают серию исходных данных для первой попытки решения. Это положение в корне отлично от положения эмпирических наук, где исследования начинают со сбора фактов, и ближе к положению, существующему в математике, где полезность результата в решении практических задач полностью зависит от исходных предположений. Такое же положение существует и в анализе систем, где для выработки правильных рекомендаций первостепенное значение имеет «качество» исходных предположений.

Даже в проблеме малого масштаба число учитываемых факторов следует уменьшить, чтобы свести ее к виду, допускающему реальную возможность решения. В анализе систем сложность «полной» проблемы часто далеко превышает компетенцию исследователя. Детально рассмотреть весь возможный диапазон альтернатив часто бывает невозможно. Однако значительное большинство из них, естественно, будет иметь относительно меньшее значение и поэтому их можно без ущерба опустить. Опасность заключается в том, что иногда опускают альтернативы лучше тех, которые оставляют для дальнейшего анализа. Число альтернатив должно быть ограничено, но только в результате предварительного анализа, а не волевым решением. Принятые ограничения нельзя считать окончательными. Возможно, что их придется изменить или отбросить, если в последующем будет установлено, что сам выбор ограничения определяет конечный результат анализа.

Некоторые проблемы можно упростить, выделив из них частные вопросы. Это можно сделать, когда одна группа переменных имеет относительно слабую связь с другими переменными, и поэтому ее можно рассматривать независимо. Как только проблема расчленена на элементы, что и является, собственно, одной из задач анализа, то часть из них можно подвергнуть дальнейшему

[39] Политика (Policy) — курс или метод действия, избранный из ряда альтернатив и определяющий характер настоящих и будущих решений. *(Прим. ред.)*

рассмотрению, однако для некоторых элементов средств анализа может не быть. Для анализа таких элементов исследователь сможет пригласить эксперта, имеющего достаточный личный опыт в этой области и на «обдуманное» суждение которого он может положиться.

Обдуманное суждение отличается от обычного, или интуитивного, суждения тем, что логика, на которой оно основано, выражена совершенно четко. Оба эти вида суждений основаны на личном опыте и индивидуальной подготовке эксперта, однако когда логика выражена четко, тогда исследователь может создать собственное мнение на основе представленной информации. Суждения глубоко проникают во все стороны анализа систем — будь то суждения о преимуществах одной гипотезы относительно другой, или о продуктивности различных подходов, или об отборе фактов, имеющих отношение к данной проблеме. В идеальном случае все суждения следует рассматривать и учитывать одновременно.

Один из методологических аспектов исследования операций — его зависимость от суждений экспертов — привлекал ранее мало внимания. Только заменив скрытые формы использования суждений экспертов четкими научными методами, можно обеспечить объективность их заключений.

Обычно используют двух или более экспертов. Если они высказывают различные суждения, то существует ряд методов их согласования. Для отработки единого решения они могут сначала работать раздельно, а затем ищут пути согласования достигнутых результатов. Или можно организовать их совместную работу, для чего существуют различные методы — от методов работы комиссии обычного типа до групповых игр с использованием ЭВМ. Проигрывание операций, или моделирование на ЭВМ, где каждый из участников играет отведенную ему роль, особенно полезно, если желательно создать обстановку, в которой прогнозы экспертов различных специальностей будут зависеть от действий других участников игры. Здесь структура игры, или модель, представляет ту искусственную среду, в пределах которой эксперты могут действовать совместно и, учитывая в процессе экспериментов результаты своих действий, накопить опыт, необходимый для более глубокого понимания сущности проблемы и для повышения качества прогнозов. Хотя эти прогнозы получены в искусственных условиях, они косвенно связаны с реальным миром.

Другим методом, промежуточным между методами индивидуальных и групповых действий экспертов, служит так называемый «метод Дельфи». Хотя он нуждается еще в дальнейшей разработке и проверке, однако автор считает его чрезвычайно обещающим. Этот метод стремится улучшить существующие методы согласования оценок экспертов путем взаимной критики экспертами суждений своих коллег, однако без их прямых столкновений. Это помогает преодолеть такие психологические ограничения, как личная склонность к определенной точке зрения, нежелание отказаться от публично высказанного мнения, воздействие коллективного мнения большинства и пр. По методу Дельфи прямые дебаты заменены специальной программой связей участников между собой, чаще всего путем взаимных опросов по специальным вопросникам, включающим информацию и мнения, полученные при согласовании точек зрения экспертов в начале работ. Некоторые из вопросов могут быть направлены, например, на то, чтобы выявить обоснования высказанного ранее суждения. Сводку таких обоснований затем можно распространить среди участников опроса и предложить им снова рассмотреть и, если потребуется, изменить свои первоначальные оценки.

Анализ систем, как говорит само название, ориентирован па системы. Важно признавать, что происходящее в одном из элементов организации или системы оружия будет, вероятно, также сказываться на других элементах. Естественным является стремление разделить сложную проблему на несколько частей и исследовать их порознь, пренебрегая этим взаимодействием. Однако цель анализа расширить границы системы, насколько это необходимо, учитывая существенные связи

между элементами системы, и оценить затем их взаимное влияние.

Поскольку содержание системы может быть очень широким, то для анализа обычно комплектуют группу из специалистов в различных областях знаний. Это обязательно не только потому, что требуется рассмотреть множество факторов и сторон проблемы. Имеет значение и то, что экономист, математик и инженер по-разному подходят к проблеме, а это чрезвычайно важно для выработки решения.

Неопределенности, связанные с проблемой долгосрочного военного планирования, настолько велики, что это позволяет, особенно на начальных этапах анализа, не уделять большого внимания малой разнице стоимости и эффективности альтернативных систем. Важнее выявить те различия, которые могут сохраниться при любом разрешении противоречий. Вопрос заключается не в том, чтобы точно установить, насколько одна альтернатива лучше другой, а в том, какая из альтернатив имеет явные преимущества, или поначалу даже в том, какая из них позволяет хотя бы продолжить исследования.

Поиск. Этот этап исследований заключается в установлении фактов или доказательств, на которых основан анализ. Необходимо не только добывать факты, но искать новые идеи (и доказательства их справедливости), включая создание новых альтернатив. Когда нет альтернатив и идей, тогда нечего анализировать и не из чего выбирать. Если мы должны выбрать предпочтительный курс действий, то следует сначала установить наличие возможных курсов. В проблемах долгосрочного планирования число альтернатив может быть бесконечным, и, чтобы исключить неразумные альтернативы, мы должны иметь предварительное мнение.

Многие факты бывает трудно установить. Фактические боевые возможности будущего оружия вообще невозможно определить с любой степенью достоверности. При определении тактико-технических характеристик оружия приходится полагаться на чисто теоретические исследования или на методы исследования операций.

Анализ систем, в отличие от других видов инженерного искусства, больше основывается на суждениях в оценке исходных данных, чем на реальных измерениях или инженерном расчете. Решение большинства проблем возможно только при наличии фактов.

Вернемся для примера к упоминавшейся ранее проблеме комплекта запасных частей для самолета. Расчет оптимального состава комплекта, исходя из некоторого уровня характеристик, соответствующих допустимой величине потери боевой эффективности, вызванной отсутствием запасных частей, особых трудностей не представляет. Трудности начинаются при определении входных данных. Это касается даже таких относительно простых вещей, как получение полного перечня запасных частей или определение частоты запросов их отдельных видов.

Даже если процесс анализа никогда не может быть завершен, то один сбор фактов и их упорядоченное представление в таблицах и графиках может иногда сделать решение очевидным.

Утверждают даже, что, когда все факты известны, проблема решена. Это может быть справедливо в философском смысле, однако на практике работа с этого только начинается.

В реальных задачах анализа систем все факты никогда не могут быть известны. Например, чтобы рекомендовать предпочтительную величину боевого радиуса полета перехватчика, требуется изучить его технические характеристики, требования к зонам действия радиолокационных станций, эффективность и стоимость перехватчика в зависимости от боевого радиуса

полета и пр. Это потребует изучения возможной системы целей, намеченной противником, и его схемы действий над целью. Следует учитывать также характеристики радиолокационных станций, их стоимость, фактическое расположение, вооружение перехватчика, возможные потери самолетов и эффект воздействия других видов оружия.

Когда следует прекратить сбор фактов? Важно помнить, что сбор фактов, необходимых для решения военных проблем, требует больших усилий. Нужные данные можно получить только частично, и руководитель вынужден действовать, не располагая всеми преимуществами, которые могут предоставить ему исследование операций и другие научные методы. Сбор данных требует времени и денег. Он может потребовать расхода других ценностей. Он может быть опасен для жизни. Он может нанести ущерб национальной безопасности. Было бы, конечно, интересно знать реакцию противника, если пустить ракету «Атлас» с ядерной боеголовкой на его столицу. Поставить такой эксперимент не трудно. Однако стоимость последствия, по-видимому, исключает такой метод сбора информации. Было бы ошибкой считать, что сбор информации проходит бесплатно. Хотя иногда можно пренебречь затратами, необходимыми для приобретения информации, но нельзя забывать, что сбор данных в результате ограничения времени и денежных средств почти всегда требуется закончить задолго до того, как ним бы этого хотелось. Собрать всю информацию, необходимую для исчерпывающего анализа, невозможно.

Такое положение аналогично положению врача, который обращается в лабораторию, чтобы проверить наличие у больного одной из многих болезней, имеющих сходные симптомы. Даже если он получит все результаты анализа, то обследование больного нельзя считать завершенным. Врач может потребовать дополнительные анализы или вызвать специалистов на консультацию. Если задача ограничивается только установлением диагноза заболевания, то самый простой метод заключается в умерщвлении пациента и вскрытии трупа. Однако стоимость такой диагностики исключает ее использование не только потому, что норма современного общества не позволяет убивать пациентов, но и просто потому, что цель врача заключается в продлении жизни пациента. Врач будет в отчаянии, если получит знания ценой жизни, которую он призван охранять. Но это вовсе не означает, что он не может рисковать жизнью, стремясь ее сохранить. Он может решиться провести исследования, подобные исследованию жидкости спинного мозга или содержимого печени, т.е. вести анализы, которые сами по себе представляют определенную опасность. Многие процедуры диагнозов опасны. Их используют тогда, когда риск оправдан. Однако врач не может принести в жертву то, что он призван защищать.

Толкование. Когда получено определенное представление о фактах и альтернативах, необходимо тем или иным образом уяснить и определить их значение.

Чтобы решать проблемы реальной действительности, мы вынуждены игнорировать большую часть свойственных им черт и выделять из реальной ситуации некоторые ее аспекты, надеясь, что они имеют прямое отношение к рассматриваемой проблеме, а затем, оценив их взаимодействие, создать идеализированный вариант реальной ситуации. Такую идеализированную схему мы называем «моделью».

В процессе постановки задачи и сбора необходимой информации исследователь может создать некоторое представление о важнейших определяющих факторах, т.е. таких, которые, несомненно, скажутся на результатах действий. Чтобы получить численный результат, необходимо выбрать шкалу измерений для каждого фактора и показать их зависимость от определенных параметров. Затем следует установить характер взаимодействия между этими факторами. В результате получим модель. Другими словами, при построении модели необходимо выделить факторы, имеющие явное отношение к проблеме или предполагаемому решению, абстрагировать их, принять масштаб

измерений и описать их взаимодействия.

Основная трудность построения модели состоит в том, что мы вначале не знаем, что имеет, а что не имеет прямого отношения к нашей задаче. Мы должны двигаться вперед по мере накопления опыта построения и испытаний первоначальных моделей, экспериментируя на бумаге, чтобы уточнить наши первоначальные суждения. Исследователь, идя по пути последовательных приближений, сам себя корректирует. По мере развития исследований первоначальная модель уточняется и изменяется настолько, что характер взаимных связей в процессе исследования выражается со все большей точностью.

Значительную часть явлений можно представить различным образом. Выбор модели зависит как от постановки вопроса, так и от сути явления. Этот важный момент был рассмотрен в гл. 4. Модель города можно представить себе в виде карты, если вопрос заключается только в том, чтобы пройти из пункта Л в пункт *Б.* Но если требуется определить скорость движения городского транспорта между этими двумя точками, то потребуется более совершенная модель. Универсальных моделей не существует, и ни одна модель не может дать ответа на все вопросы, касающиеся данного вида действий. Иногда моделирование можно выполнить математически, т.е. представить явление в виде серии уравнений. В другой раз, особенно когда установить взаимоотношения между основными воздействующими факторами трудно, например, при изучении поведения общественных коллективов, моделирование может быть выполнено либо имитацией явления, либо военной игрой.

На языке исследования операций термин «имитация» используется тогда, когда моделирование существенных черт системы или организации происходит без использования математического аппарата и поведение системы или организации исследуют, выполняя определенные операции на имитаторе. Имитация — это широкое понятие, которое может быть использовано для обозначения самых различных физических (аналоговых) устройств, например самолетного тренажера типа «Линк», программы электронно-вычислительной машины, используемые для исследования стратегических ситуаций методами Монте-Карло, а также действия группы людей, которые с помощью электронных машин воспроизводят деятельность центра управления ПВО. Если характер исследования на таком имитаторе или модели имеет игровой характер, особенно если в нем участвуют люди, то такую имитацию называют «игрой». Не следует ожидать, что игровая модель позволит нам определить оптимальный вариант действий в условиях неопределенностей, но она может указать участникам на наличие таких неопределенностей. Они будут вынуждены определять планы своих действий с учетом всех предвидимых обстоятельств. Важной особенностью анализа систем является свойственный ему дух игры. Это выражается в стремлении возможно более глубоко рассмотреть все возможные виды действий и противодействий, выявить и изучить возможно более широкий диапазон альтернатив и изыскать возможные варианты поведения под воздействием противника.

Хотя имитация только недавно стала применяться широко, она уже прочно вошла в арсенал методов исследования операций. Она позволяет заменить эксперименты в реальных условиях экспериментами в искусственной среде. Основная ценность методов имитации заключается в том, что их можно использовать для исследования явно невоспроизводимых или не существовавших ранее проблем, когда традиционные методы анализа непригодны. Однако эти методы обычно не позволяют получить однозначные результаты и представляют собой только псевдоэмпирическую форму познания, далеко уступающую обычным методам исследования функциональных связей с помощью аналитических моделей. Имитация может служить хорошим инструментом исследования до того, как будет построена удовлетворительная теория, так как она представляет собой средство использования интуиции и суждений экспертов систематическим образом и позволяет обходиться без построения аналитических моделей, счетных устройств и без людей, оперирующих ма-

тематическими формулами.

Основное назначение моделей заключается скорее в толковании, чем в описании ситуации. Модель часто используют не для расчетов, а исключительно для организации мышления.

Следует подчеркнуть, что во многих ответственных случаях при анализе систем необходимость построения модели как таковой вообще не возникала. В таких случаях анализ мог быть особенно эффективным, поскольку он был доступен для понимания руководителей.

Суть анализа систем вовсе не заключается в математических методах и процедурах. Вычислительные машины или вычислительные методы, вроде линейного программирования, могут или не могут быть полезными, все зависит от характера задачи и объема имеющейся информации. Главное заключается в том, чтобы составить перечень альтернатив и сравнить их по стоимости и возможности использования. То, что было сказано по поводу моделей, не имеет существенного значения для случаев анализа, ограниченного составлением перечня альтернатив и возможностей их использования. Однако этот вопрос требовалось рассмотреть хотя бы потому, что в ряде сложных проблем построение моделей и расчеты по ним бывают совершенно необходимы.

Методы оптимизации, широко используемые в исследовании операций, также применяются и в анализе систем, но, скорее, для изучения отдельных частных вопросов, а не для исследования самого существа широких проблем. Прежде чем использовать для решения реальных проблем математические методы, необходимо построить количественную модель рассматриваемого процесса. В такой модели эффективность рассматриваемых альтернатив представлена функцией ряда переменных, часть из которых можно произвольно изменять. Как только это проделано, решение можно получить аналитически, поскольку установлено формализованное соотношение между переменными. Решение, получаемое с помощью подобной модели, может быть полезным тогда и только тогда, когда модель достаточно точно отражает реальную ситуацию. В чрезвычайно сложных ситуациях (связанных с важнейшими военными задачами) только отдельные части проблемы можно с достаточной уверенностью представить на модели. Частные модели таких слагающих нередко возможно представить в форме, позволяющей исследовать их методами динамического программирования или теории массового обслуживания. Однако даже здесь новые и наиболее перспективные методы анализа, как бы они ни были полезны и многообещающи, редко бывают необходимыми. В большинстве случаев можно обойтись значительно более простыми средствами.

Построение моделей для оказания помощи в процессе подготовки решений является в значительной мере искусством. Здесь будет полезным использовать широкий опыт и сотрудничество многих людей, однако для достижения должного результата необходимо осуществлять отбор данных и строить модель, пользуясь интуицией и чувством меры.

Для построения моделей почти не существует общих правил, дайте, что существуют, не слишком полезны. Например, иногда исследователю предлагают создавать модели, учитывающие все большее и большее число факторов, относящихся к одной и той же ситуации. В задачах исследования операций это ведет к чрезмерному усложнению моделей, и исследователь от решения общих вопросов проблемы отвлекается на разработку деталей модели.

Для построения моделей часто используют предположения, упрощающие слишком трудную для исследования ситуацию. Например, модель для сравнения ракетных систем, рассмотренная в приложении Б, была построена постепенно, в процессе «упрощения предположений». Так, все

цели полагали равноценными, т.е. при построении модели считали, что они:

1) представляют равную угрозу,

2) требуют одинаковой мощности заряда для разрушения,

3) находятся в одном диапазоне дальностей,

4) имеют общую систему обороны

5) рассредоточены настолько, что поражение одной цели не предполагает разрушения другой.

В сущности, здесь мы исходим из предпосылки, хотя редко формулируемой, но основной для работы с моделями,— считаем, что, изучив упрощенную гипотетическую ситуацию, мы получаем ответ, аналогичный ответу, который получили бы, изучая реальную ситуацию.

Все предположения, используемые при построении моделей, должны быть выражены абсолютно четко. Если это не сделано, то это ошибка. Отличительным признаком хорошего специалиста по исследованию систем (или любой разумной личности, желающей обеспечить взаимопонимание) является то, что он формулирует исходные положения для своих действий. Это не обязательно означает, что его предположения будут иметь большую ценность, но это значит, что его ошибки станут более очевидными.

Контраст между затратами времени на разработку модели и расчет по ней может повести к неправильному представлению об их относительной важности. Конструкция модели и степень достоверности в отображении существенных черт исследуемого явления — вот что важно для изучения вопроса, а не то, как далеко продвинулся расчет.

Военный исследователь не располагает и в принципе не может располагать столь точными и гибкими средствами исследования, какими пользуется физик или инженер для экспериментальной проверки своих моделей. Он не может, например, вести эксперимент в реальных боевых условиях. Самое большее, что в его силах, это проверить работоспособность своей модели и попытаться для этого ответить, например, на следующие вопросы:

1) Отражает ли модель четко и ясно известные данные и ситуации?

2) Дает ли изменение основных параметров модели логичные и заслуживающие доверия результаты?

3) Пригодна ли модель для анализа в тех частных случаях, когда имеются некоторые указания о возможных результатах?

4) Можно ли по модели определить причины известных явлений?

Будет ли одна модель лучше или хуже другой, зависит не от ее сложности, реальности или простоты расчетов, а только от возможности получения лучших прогнозов.

Специалист по анализу систем, работая по модели, стараясь выявить возможные стратегии и принципы операций, приближается к научному эксперименту. Выводы, получаемые при исследовании моделей, часто указывают новое направление работ. Следует отметить, что, вклю-

чая первоначально в состав модели относительно малое число параметров, удается иногда показать, что их изменение может повести к улучшению свойств системы, отражаемых моделью. Это позволит внести некоторые изменения в реальную систему, которые дадут возможность в большей степени приспособить ее к реальным условиям, т. е разработка модели является элементом проектирования системы.

Столь же важно не ограничивать исследования рамками модели: изучая положения, противоречащие исходным предположениям, можно существенно улучшить качество модели.

В построении моделей наибольшие трудности вызывают два момента: выражение параметров в численной форме и учет неопределенностей.

Некоторые переменные трудно выразить в численной форме потому, что они не поддаются количественной оценке (например, вероятность возникновения войны) или потому, что не существует соответствующей шкалы измерения (например, меры оценки влияния некоторых односторонних действий США на единство НАТО). Это приводит к тому, что такими параметрами либо просто пренебрегают, либо их учитывают, только вводя качественную оценку решения, достигнутого вариацией переменных, допускающих числовую оценку. Таким образом, когда подходят к отработке рекомендаций на основе решений, полученных по моделям, возникает опасность, что будут учтены только факторы, включенные в модель в количественной форме, а переменные, не поддающиеся численной оценке, могут легко затеряться среди множества количественных соотношений.

Некоторые переменные можно не учитывать, поскольку они практически не сказываются на решении проблемы. В сущности, анализ становится возможным именно потому, что к этой категории относится значительное большинство переменных. Если результат анализа оказывается чувствительным к воздействию большого числа переменных, то исследователь вынужден полагаться полностью на свои предположения и интуицию. Нечувствительность результата может объясняться или тем, что переменные не имеют прямого отношения к рассматриваемой проблеме, или тем, что они оказывают примерно разное влияние на все рассматриваемые альтернативы. Причина нечувствительности должна быть обязательно выявлена. Иногда для этого бывает достаточно проследить логику решения, однако чаще приходится вести специальный анализ, вводя количественную оценку факторов, не поддающихся прямому расчету.

Переменными, не имеющими численного выражения, пренебрегать нельзя. Если же это сделано, то следует указать, на каком основании. Невозможно ограничиться, например, беглым замечанием, что две величины оказывают противоположное воздействие и поэтому компенсируют друг друга, нужно определить количественные результаты их взаимного действия. Как же в таком случае следует учитывать переменные, не имеющие количественного выражения? Обычно их стремятся учесть путем некоторой модификации решения, не включая саму переменную в состав модели. Но это, в сущности, представляет собой частный случай количественной оценки переменных, так как, изменяя решение, чтобы учесть воздействие опущенной в модели переменной, исследователь дает определенную меру. Поскольку у нас всегда есть некоторое представление относительно диапазона значений, которые может принимать определенный параметр, можно даже в наиболее трудных случаях, присваивая ему произвольную величину, наблюдать его влияние на решение. Можно полагать, что в действительной жизни политические решения основываются на количественных оценках, при этом не задаваясь вопросом, насколько они справедливы или относятся к делу. Следовательно, необходимо предпринимать все меры, чтобы получить такую ко-

личественную оценку.

Многие аспекты проблемы выбора в вопросах национальной безопасности требуют количественного анализа, другие — нет. Но одна из основных задач анализа сводится к улучшению понимания сущности проблемы и ее разъяснению другим лицам. Число — это элемент нашего языка. Когда обсуждают проблему, имеющую количественную меру, даже если ее решение связано с неопределенностями, наиболее четко можно выразить мысль, пользуясь числом. Только в очень редких случаях можно провести убедительное сравнение альтернатив без количественного анализа относящихся к проблеме величин.

Исследователь систем имеет дело с проблемами, которые по самой природе связаны с неопределенностью развития событий во времени. Это не только неопределенности технических и оперативных параметров или действий противника, но и неопределенности самих концепций. Это обстоятельство всегда следует иметь в виду при анализе таких проблем или при любой попытке ответа на аналогичные вопросы. Неопределенность является важнейшим элементом проблемы, что следует учитывать при отработке рекомендаций. Учет неопределенностей представляет не только принципиальные, но и большие практические трудности. Однако иногда число случаев, рассматриваемых в условиях неопределенности, может быть ограничено и объем работы сведен к разумным пределам.

Имеются различные виды неопределенностей, однако мы рассмотрим только две категории; ввиду отсутствия лучших терминов назовем их «статистической неопределенностью» и «реальной неопределенностью».

Статистические неопределенности — это неопределенности, обладающие объективной, поддающейся расчету величиной частоты появления. Их можно учесть, обрабатывая модель методами Монте-Карло или другим способом. Наше представление о ситуации иногда может быть достаточно полным и точным, однако в количественном виде оно будет выражено случайными величинами и связано с «шумами» Примером может служить точность поражения цели ракетной системой.

С другой стороны, количественная характеристика может иметь единственное значение, однако факторы, его определяющие, не поддаются измерениям. Здесь количественная величина также может быть связана с измеримыми факторами столь сложной зависимостью, что она не поддается обработке современными математическими и расчетными методами. В таких случаях мы вынуждены идти не упрощение реальной ситуации. Рассмотрим, например, понятие «радиус поражения» для ядерного заряда.

Такие неопределенности, как неопределенности в оценке стоимости или точности наведения ракеты, представляют какую-то опасность, степень которой (риск) можно оценить и согласиться с ней. Эти неопределенности вносят, конечно, трудности, но они кажутся несущественными по сравнению с трудностями, обусловленными недостаточностью наших знаний и конкурентным характером ситуации, применительно к которой идет прогнозирование изменений в оперативной обстановке и образе действий противника на срок жизни системы оружия.

Неопределенности в оценке логических и других возможностей человека или в оценке перспектив развития предметов материального мира, далеко превышающие способности исследователя к прогнозированию, относятся к классу реальной неопределенности. Вероятности событий, рассматриваемых в условиях реальной неопределенности, например вероятность возникновения войны, можно присвоить определенную величину, но эта оценка будет чисто субъективной и не может быть подтверждена расчетом. В вопросах ПВО к реальным неопределенностям относятся, например, ответы на такие вопросы: поступит ли сообщение о подготовке удара противником? Если

да, то поверим ли мы ему? Какие неожиданности готовит противник?

О величине вероятности, связанной с подобными неопределенностями, могут быть самые противоречивые суждения, так как даже человек, дающий подобную оценку, сам бывает не уверен в ее справедливости.

В качестве простого примера можно привести следующую историю. Мой сын, когда ему исполнилось 16 лет, хотел получить права водителя. Поскольку он был неуклюж и не мог пройти двух шагов по комнате, чтобы не натолкнуться на мебель, то передо мной встала проблема: разрешить ему водить нашу машину или нет? Здесь был ряд неопределенностей. Например, как право вождения машины скажется на формировании его личности и характера в следующем году? Способен ли он сохранить жизнь в условиях напряженного уличного движения? Это были неопределенности относительно эмпирических фактов, которые я не мог разрешить экспериментом. Поэтому мое решение должно было исходить из предположений и суждений, которые никогда не будут подтверждены, и даже теперь я не знаю, был ли мой выбор правильным или нет.

Не существует твердых рецептов для разрешения неопределенностей. Однако почти всегда имеется возможность выбрать такой курс действий, чтобы ошибки не вели к катастрофе.

В упомянутой проблеме получения водительских прав для моего сына имелись различные пути принятия решения. Например, я мог: 1} задержать получение им прав водителя, чтобы проверить его реакцию; 2) создать аварийную обстановку или вызвать аварию, чтобы его лишили водительских прав; 3) запретить ему некоторое время водить машину в определенном районе или в определенное время.

Последний путь хотя не давал возможности получить новую информацию, но позволял оградить его от поездок в опасных условиях, пока он не наберет достаточного опыта.

Я избрал, однако, четвертый путь: вместо того чтобы учить его самому и передать ему мои собственные плохие навыки вождения машины, я потребовал от него закончить с хорошей оценкой курсы водителей, известные высоким уровнем подготовки, а затем решил положиться на решение инструктора. Тогда, получив права, он сможет водить машину без ограничения.

В анализе, цель которого сводится к поиску путей действия в условиях неопределенностей, не следует *предсказывать* будущее в том смысле, чтобы пытаться определить *единственную* последовательность событий. Наоборот, следует приложить усилия и *дать прогноз* возможностей возникновения различных состояний в будущем. Поскольку будущее в принципе не предсказуемо, то слишком опасно действовать, исходя только из «лучшей оценки» будущей военно-политической и научно-технической обстановки. Вместо этого следует в результате анализа определить ряд возможных направлений развития и выявить серьезные неопределенности в оценке будущего.

Для этого, по крайней мере в области оценки технической или боевой обстановки, можно сначала установить границы исследований, а затем определить диапазон неопределенностей, используя в дополнение к наиболее вероятной оценке оценку верхней и нижней границ неопределенности. Хотя вначале обычно требуется выбрать стратегию системы на основе лучшей оценки, такое исследование позволяет установить обратную связь и помогает корректировать характеристики системы таким образом, чтобы они не были чувствительны к параметрам, значения которых, в сущности, не известны. Необходимо помнить, что оценка альтернативы зависит от ее способности к действиям в непредвиденных условиях, а не от ее оптимальности в некоторых

определенных условиях.

Когда нет твердой уверенности, то переоценка возможностей противника и недооценка собственных возможностей не обязательно являются лучшим путем. Переоценка возможностей противника не обеспечивает собственной безопасности и уверенности. В равной мере она может вести к отчаянию и потере стойкости духа; она может создать впечатление недостижимости некоторых политических задач и повести к «стратегии отчаяния».

Естественно, что средством компенсации неопределенности было бы «изобретение» системы или политики, которая позволила бы уйти от всех возможных катастроф; трудно сказать только, как это можно сделать.

Поскольку неопределенности присутствуют в любой модели, используемой в исследовании операций, то как можно из нее получить полезную информацию? Это основной вопрос, стоящий перед каждым ученым. Для ответа на него необходимо провести анализ результата исследований на *чувствительность* и работоспособность в непредвиденных обстоятельствах. В дополнение к вычислениям, произведенным первоначальной для определенной серии исходных данных, необходимо выявить влияние изменения первоначальных предположений на конечный результат.

Анализ на чувствительность результата позволяет оценить степень его изменения при вариациях исходных параметров и предположений. При этом надеются получить доминирующее решение, в котором перечень избранных альтернатив останется неизменным при изменениях в разумных пределах исходных параметров или предположений. Цель анализа на работоспособность в непредвиденных обстоятельствах состоит в оценке того, как система, избранная применительно к одной серии условий, будет действовать, когда условия изменятся радикально.

Анализ на чувствительность дает возможность проверить действие альтернатив в широком диапазоне возможностей противника и оценить, как система, избранная для одного уровня возможностей противника, будет действовать при другом уровне возможностей. Анализ на работоспособность в непредвиденных обстоятельствах позволяет испытать варианты систем на изменение критериев или сравнить их, предположим, в таких условиях, когда Франция станет членом коммунистического блока.

Поскольку анализ систем проводят для отработки рекомендаций по изменению политики, то результаты этих исследований должны содержать убедительное сравнение альтернатив. Хотя автору работы может быть совершенно ясно, что курс действий *A* лучше альтернативных курсов *B, C, D...,* это может быть не очевидно для человека, менее знакомого с проблемой. Одним из методов доказательств справедливости рекомендаций исследователя во всем диапазоне разумных предположений будет «усилительный» или «уравнительный» анализ.

Для усилительного анализа необходимо вернуться назад и сравнить альтернативы в условиях, неблагоприятных для избранной нами системы и благоприятной для ее конкурента. Если и в этом случае рекомендованная система докажет свои преимущества, то это будет сильным доводом в поддержку сделанных рекомендаций. Такой метод анализа не всегда возможен; например, его нельзя применить, если мы согласимся с чрезмерно благоприятной оценкой конкурирующей системы и пессимистической оценкой избранной. Тогда можно сделать попытку уравнительного анализа. Мы определяем, при каких исходных предположениях обе системы будут давать примерно одинаковые результаты, и просим затем кого-либо другого оценить предположения, положенные в основу каждой из систем, оптимистические или пессимистические. Умение использовать методы усилительного и уравнительного анализа больше, чем что-либо другое, отличает

профессионала в анализе систем от любителя. Анализ в большинстве случаев следует вести в два этапа; на первом этапе нужно выработать рекомендации, а на втором — выявить информацию, которая сделает рекомендации убедительными, даже для враждебной и неверующей, но разумной аудитории.

Рекомендация. Модель — это только одно из возможных отображений реального мира, положенное исследователем в основу своего анализа. Поэтому следует проверить, насколько результаты исследования одной определенной модели останутся справедливыми, если рассмотреть те предположения, которые не могли быть учтены в первоначальной модели. Например, специалист по анализу систем (или человек, планирующий структуру сил стратегического нападения) может установить требование, чтобы эти силы обеспечили подавление, положим, 95% целей при минимальных затратах и в определенном диапазоне условий. Однако при этом возникает ряд вопросов. «Возможно, что эти минимальные затраты будут сочтены неприемлемыми. Возможно, что задача сдерживания противника и ограничения ущерба в войне может быть лучше решена путем уменьшения затрат на стратегические силы и увеличение их на силы противовоздушной обороны. 95% подавления целей — это может быть и слишком много и слишком мало; возможно, кому-либо удастся установить соотношение между процентом разрушения целей и их последствиями в виде имеющих большее значение критериев, таких, как равновесие боевых сил, стремление продолжать борьбу и воздействие на нашу дипломатию. Хотя исследователь может быть полезным и здесь, однако ответственность за последствия будет нести не он, а другой человек.

Решение, которое было упрощено и, возможно, сведено к математической формуле путем чрезмерной идеализации и обобщений, не обязательно будет хорошим решением первоначальной задачи. Возможно, потребуется использовать другие модели. На этом этапе исследователь пытается уяснить результаты своей работы. Он привлекает к ней человека, поставившего задание, и пытается применить результаты работы к реальной обстановке. Это позволяет выявить слабость аргументации исследователя и в следующем цикле последовательных приближений существенно улучшить результаты анализа.

Для создания надежной основы при выработке рекомендаций каждый исследователь военных систем обязан рассмотреть как минимум следующие вопросы: 1) общие задачи государства и сил, предназначенных для их решения; 2) требования к силам, предназначенным для решения задач государства; 3) задачи и возможности противника; 4) возможности науки и техники; 5) эффективность каждого варианта структуры вооруженных сил, системы оружия или плана действий; 6) стоимость или затраты ресурсов по каждому из вариантов; 7) неопределенности в ответах на каждый из вопросов.

Эти вопросы, естественно, нельзя рассматривать изолировано. Они взаимосвязаны и зависят от требуемой степени безопасности, от представления противником наших задач и от действий, которые мы можем принять для их решения; причем эти факторы изменяются во времени. Более того, все ответы основаны на предположениях, которые, как полагают, объективны, а не произвольны. Если на основе анализа должны быть проведены определенные мероприятия, то чрезвычайно важно, чтобы как задачи мероприятий, так и предположения, положенные в их основу, были справедливы.

Имеется ряд специальных проблем, связанных с военными вопросами; множество факторов, которые приходится учитывать в расчетах, трудно или невозможно выразить количественно или из-за недостатка времени, или потому, что такие факторы, как сила противодействия противника или ухудшение в процессе боевых действий характеристик сложных систем человек — машина, в принципе измерить невозможно. Их можно только оценить на основе опыта или коллектив-

ного суждения. Результаты таких расчетов необходимо специально исследовать, чтобы выявить, насколько они критичны к подобным оценкам.

Военные проблемы всегда связаны с соображениями, не поддающимися количественному анализу. Для успеха действий в военной области важно учитывать не только соотношение их стоимости и эффективности. Не менее важное значение имеет дисциплина, готовность действовать совместно, дух коллектива, традиции и поведение организации.

Все эти проблемы выходят далеко за рамки чисто военных вопросов. Численность, состав, размещение и степень определяют нашу внешнюю политику и свободу наших действий. Они также оказывают большое влияние на нашу экономику и моральный дух населения. Человек, учитывающий эти факторы в своих исследованиях, ведет анализ систем в полном смысле этого слова, однако на таком высоком уровне вести анализ, как таковой, чрезвычайно труд!

Очень важно, чтобы тот, кто будет использовать результаты анализа, мог бы сделать различие между картиной, показанной в исследовании, и действиями, рекомендуемыми исследователем на основе его представления о результатах работы. Часто случается, что когда вновь прибывший человек, например руководитель, рассматривает проблему, то вносит новую информацию. Даже если она не скажется на результатах расчетов по модели, она может отразиться на рекомендациях, основанных на этих расчетах. Модель — это только индикатор, но не верховный судья. В рассмотренном ранее примере (гл. 3} основные системы сравнивались в условиях ряда предположений и на различных моделях. Никто не в праве ожидать, что окончательное решение будет принято только на основе этого анализа. Данное положение будет справедливым и для еще более сложных исследований.

Имеется много причин, делающих такую критическую оценку необходимой. Это нужно прежде всего потому, что важнейшие задачи в экономической или военной области исходят не только из логических, но также из политических соображений.

Рассмотрим, например, такой случай. Соотношение между стоимостью и эффективностью системы оружия в решении поставленных задач выражается, как правило, графиком, показанным на рис. 8.2.

Если некую систему оружия можно представить точкой *A* на графике, то задачи этой системы явно превышают возможности бюджета. Тогда следует либо выбрать более скромные цели, либо вовсе отказаться от такой системы оружия, либо решиться на большие расходы и создать систему оружия с характеристиками, соответствующими точке *B.* Если у нас будет достаточно средств, то можно создать систему, соответствующую точке C. Однако здесь мы вкладываем в систему больше денег, чем это экономически целесообразно, и следует либо искать другие системы оружия, либо ставить более ограниченные задачи.

Если по оценке исследователя и того, кто использует результаты его работы, альтернативы, признанные лучшими в анализе по модели, будут приемлемы, то процесс анализа на этом заканчивается. В противном случае следует продолжать поиск других лучших альтернатив или выбрать более скромные цели. Результаты анализа могут повести к принятию решения только тогда, когда политические руководители имеют общее мнение относительно целей действий. В сфере военной политики, как и в ряде других случаев, согласия между руководителями часто нет. Выбор между альтернативами — это, в сущности, выбор между задачами и средствами их решения, и для окончательного согласования взглядов руководителей аналитические методы непригодны. Хотя последствия действий, рассчитанных по моделям, могут способствовать выбору

компромиссных целей, однако добиться такого решения не легко, и здесь снова приходится использовать суждения.

В конечном счете военные решения, как и анализ систем,— это искусство. На некоторых уровнях расчеты уже не могут быть полезны. Здесь всегда существуют соображения, которые не поддаются измерениям, скажем: как можно оценить соотношение военного выигрыша и политических потерь или как соизмерить общественную реакцию на временное отступление с возможностью увеличения вероятности достижения отдаленных целей. Более того, всегда существуют соображения, которые можно точно измерить или оценить по суждениям, но которые не удовлетворяют руководителя, принимающего решение.

Ни одно суждение по самому определению этого понятия не может быть абсолютно справедливым. Поскольку анализ систем обычно выходит за пределы объективного анализа, он в значительной мере полагается на суждения; как бы оптимистически ни был настроен исследователь-профессионал, суждения руководителя, принимающего решение по результатам исследования, неизбежно ограничивают влияние проделанного анализа. В лучшем случае исследователь может охватить только часть общей проблемы. Он может вообще не учесть многих субъективных элементов и прежде чем добьется понимания всех объективных факторов, проблема станет слишком сложной для анализа. Таким образом, анализ может идти только до этого рубежа, но не далее.

Однако препятствия к реализации результатов анализа, создаваемые нежеланием руководителей согласиться с ними, можно преодолеть, повышая качество анализа.

Часть 3

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

Среди множества других важных проблем анализа систем мы избрали некоторые, чтобы рассмотреть их более подробно. Выбор до некоторой степени обусловлен желанием авторов подвергнуть анализу некоторые частные вопросы, однако независимо от выбранных тем мы стремились рассмотреть все основные идеи анализа систем. Одна из главных трудностей заключалась в том, чтобы удержать авторов в рамках предписанных им тем, так как каждый из них стремился в своей теме высказать свое мнение обо всем, что он считал важным в анализе систем.

Во многих исследованиях военных проблем выбор альтернатив зависит от возможностей техники. Одна из важнейших задач анализа заключается в определении компромиссов между различными параметрами системы оружия и оценке их влияния на стоимость, эффективность и риск каждого варианта. Этим вопросам посвящена гл. 9, где изложены некоторые взгляды на проблемы техники, имеющие большое значение в подготовке решений руководителей.

В анализе военных проблем решающую роль играет учет поведения противника. Мало согласиться с тем, что система должна быть рассчитана на противодействие противнику в целом, а не его частной тактике. Необходимо еще учитывать возможности изменения противником своих целей и сил в ответ на наши действия. В гл. 10 освещены некоторые стороны проблемы учета возможностей и намерений противника в процессе анализа.

В проблемах военных решений, так же как и в ряде решений по коммерческим и промышленным вопросам, решающее значение имеет оценка поведения сторон в конфликтных ситуациях. Хотя анализу и описанию такого поведения было уделено много внимания и сил, его чрезвычайно трудно

выделить в чистом виде.

Больших успехов в этой области в последнее время достигла теория игр. Ее сторонники считают, что многие из трудностей, описанных в гл. 10, можно разрешить средствами теории игр. Они полагают, например, что понятие «стратегия» позволяет обойти трудности, связанные с недостатком информации и проблемой «кто действует первым», а понятия «смешанная стратегия» и «решения» позволяют преодолеть трудности проблемы исходных предположений.

Однако теория игр, хотя ее концепции получили всеобщее признание, еще не достигла такого развития, чтобы могла решать реальные военные или коммерческие проблемы. Все же существуют практические методы, которые уже долгое время широко используются в военном деле — это методы военных игр. В гл. 11 рассмотрены методы организации и ведения игр как способа исследования.

Несколько лет назад корпорация РЭНД провела исследования с целью выбора (с точностью до десятка узлов и сотен миль) наилучшего сочетания скорости и дальности полета стратегических средств нападения будущего. Сегодня все существовавшие тогда неопределенности в их разработке остались без изменений. Мы осознали, что подобные работы не обязательно сопровождаются успехом и не обязательно оказывают помощь в решении главной задачи — создании мира, более устойчивого в условиях неопределенностей.

В гл. 12 указывается на возможности использования анализа систем для решения проблем исследований и разработок систем оружия, так как они, по сути дела, также являются проблемами выбора среди альтернатив.

Анализ военных проблем охватывает широкий диапазон вопросов — от решений по распределению ресурсов, сходных с решениями, принимаемыми в торговой и промышленной деятельности, до решений по действиям, от которых может зависеть жизнь или смерть государства. Область решений первого типа — наиболее подходит для анализа. В ней математика и математические методы исследования операций играют наиболее важную роль. В гл. 13 рассмотрена связь математики с анализом систем и показано, в каких случаях математику можно использовать с наибольшим успехом.

Хотя в настоящей работе специально не рассматриваются отдельные частные средства и методы анализа систем, мы решили остановиться на электронно-вычислительных машинах и возможностях их использования. Одна из причин, позволяющих применять математические методы в анализе таких крупных проблем, как проблемы разработки современных систем оружия, заключается в быстром, развитии электронных цифровых вычислительных машин. В принципе мы можем теперь построить новые или приспособить существующие машины для любой работы, которую способен выполнить человек, но при том непременном условии, что мы можем описать достаточно подробно, как она должна быть выполнена. Однако многие ожидают от машин большего. В гл. 14 рассмотрены пределы возможного использования ЭВМ.

Хотя в гл. 5 было показано значение учета стоимости для анализа систем и различных видов решений, там не были рассмотрены методы оценки стоимости предметов, не поступающих на открытый рынок. В гл. 15 рассмотрены основные слагаемые стоимости систем оружия и методы расчета полной стоимости.

Поскольку анализ систем используется в решении чрезвычайно трудных проблем и методы его еще далеко не совершенны, возможны частые ошибки. В гл. 16 предпринята попытка выявить неко-

торые источники ошибок анализа, о которых должны иметь представление как исследователи, так и те, в чьих интересах ведется анализ.

9. ФАКТОР ТЕХНИКИ

Р. Шамберг

9.1. Введение

В гл. 2 военные решения были разделены на три группы: оперативные решения, решения по выбору структуры сил и решения по разработке новой техники. В этой главе мы рассмотрим более детально ряд положений, относящихся к ней группе решений. В частности, рассмотрим ряд соображений, которые играют существенную роль в анализе, направленном на подготовку решений о разработке новой техники. Поскольку явно невозможно на нескольких страницах дать краткий очерк основных вопросов физики и инженерного искусства, мы ограничимся разбором только некоторых понятий и идей, полезных как для потребителя, так и для исследователя, который не является глубоким специалистом в вопросах техники. В число подобных понятий, пользуясь терминологией ученых и инженеров, входят, например, технические характеристики, компромиссы, уровень развития техники, ограничения, относительность, масштабный закон, оптимальность, надежность и сложность.

Как видно будет дальше, многие из этих понятий взаимозависимы и порядок их перечисления какого-либо специального значения не имеет. Мы раскроем содержание этих понятий на примерах, взятых из таких областей техники, как баллистические ракеты, самолеты, системы связи и воздействие ядерного оружия. Эти примеры интересны и содержательны сами по себе, но они не должны отвлекать внимание читателя от более широких проблем, иллюстрировать которые они призваны.

9.2. Технические характеристики

Под технической характеристикой следует понимать описание физических свойств или возможностей образца техники, например ракеты или самолета. Техническая характеристика, конечно, не служит мерой их военной или экономической ценности. Это можно легко показать, рассмотрев самую распространенную из технических характеристик — скорость.

Скорость есть не что иное, как отношение расстояния к времени, необходимому на его преодоление, т.е.

$$\frac{\text{расстояние}}{\text{время}}$$

В одних условиях нужна большая скорость, а в других — малая. Рассмотрим случай, когда необходимо преодолеть большое расстояние за определенный промежуток времени, например межпланетный полет, который должен быть завершен за ограниченное число лет. Здесь сами масштабы расстояний диктуют высокую скорость. Наоборот, если интересы дела требуют прибыть из Лос-Анжелеса в Лондон возможно быстрее, то требование к сокращению срока пребывания в пути обусловливает необходимость больших скоростей. Высокая скорость является также целью в проектировании бомбардировщиков или баллистических ракет, которые должны преодолеть заданное расстояние до цели в возможно более короткое время.

Возможны также другие ситуации (или операции, выражаясь военным языком), где желательны

только малые перемещения или долгое пребывание в замкнутом пространстве. Так, некоторые задачи разведки, наблюдения или патрулирования требуют длительного пребывания в относительно неподвижном состоянии, и здесь будет желательна малая, а не высокая скорость перемещений. Следовательно, если о скорости полета самолета будет сказано, что она высокая или низкая, это еще не даст основания считать самолет хорошим или плохим, если не известно его назначение.

Определив таким образом скорость как техническую характеристику, интересно оценить физические ограничения скорости. Нижний предел скорости, очевидно, равен нулю. Однако, чтобы это заявление имело смысл, мы должны определить скорость по отношению к чему-то, скажем, относительно Земли. Сам читатель в этот момент времени, вероятно, неподвижен относительно Земли и не испытывает трудности сохранения нулевой скорости в течение долгого промежутка времени. Однако выдерживать нулевую скорость относительно Земли в полете на некоторой высоте значительно труднее. В принципе с этой целью можно использовать воздушные шары или другие аппараты легче воздуха, однако все они подвержены ветровому сносу, они имеют ограниченную полезную нагрузку и поддерживать их нулевую скорость относительно Земли трудно или невозможно. Сохранить неподвижность относительно Земли можно также с помощью маневрирующих аппаратов — вертолетов или самолетов с вертикальным взлетом и посадкой. Однако аппараты тяжелее воздуха должны непрерывно развивать тягу для преодоления силы тяготения, и запас горючего ограничивает длительность их полета.

Аппаратом, способным сохранять нулевую скорость относительно Земли и не подверженным ветровому сносу (как в случае воздушных шаров) или ограничениям длительности полета (как вертолеты), является стационарный искусственный спутник Земли. Он способен, находясь на экваториальной орбите, сохранять неподвижность относительно некоторой точки на поверхности Земли. Этот пример создает ложное впечатление из-за относительного характера природы скорости. Так, хотя стационарный искусственный спутник Земли имеет нулевую скорость относительно поверхности Земли, скорость ракеты-носителя при выводе его на орбиту высотой около 36 тыс. км достигала 7,5 *км/сек.* Другими словами такой искусственный спутник обладает одновременно очень большой скоростью по техническим характеристикам и малой по оперативным свойствам.

По современным представлениям о законах природы верхним пределом скорости будет скорость света, т.е. та скорость, с которой электромагнитное излучение распространяется в вакууме. Известное всем значение скорости света (300 000 *км/сек)* позволяет радиосигналу обойти вокруг Земли за 1/8 *сек.* Другой вопрос в том, можно ли достигнуть этого предела, т.е. скорости света? Несомненно, можно сказать «да», если подразумевать скорость распространения электромагнитных волн (сигналов в вакууме). Однако такие материальные тела, как космические корабли или беспилотные аппараты, согласно принципам теории относительности не могут развить скорость, близкую к скорости света, поскольку это потребует затраты бесконечного количества энергии на их ускорение. Интересно оценить, как близко скорость ракетного аппарата может подойти к скорости света. Из рис. 9.1 видно, что максимально достижимая скорость зависит главным образом от запаса энергии и возможности ее использования ракетным кораблем.

По вертикальной оси на рис. 9.1 отложена величина интересующей нас технической характеристики — скорость ракеты в момент выключения двигателей. Она представлена логарифмом отношения скорости выключения двигателей к скорости света. Наибольшее значение (1,0) соответствует скорости света, а наименьшее из показанных значений (10^{-5}) соответствует скорости выключения двигателей, равной 3000 *м/сек.* На оси в правой части графика показаны также абсолютные значения скорости выключения двигателей в тысячах футов в секунду. Рядом отмечены стрелками

некоторые виды земных и космических полётов, осуществимых при данной скорости выключения двигателей. Например, скорость выключения двигателей обычной баллистической ракеты среднего радиуса действия (2300 *км)* составляет около 4,5 *км/сек.* Для преодоления космическим аппаратом силы тяготения Земли необходимо выключить двигатели при скорости около 10,5 *км/сек,* а для полета к наиболее отдаленной планете Солнечной системы — Плутону — необходимо развить скорость в 15 *км/сек.* Еще более высокую скорость к моменту выключения двигателей необходимо создать, чтобы выйти за пределы Солнечной системы. Скорость, требуемая для полета к другим звездным системам, будет определяться тем временем, которое наш воображаемый космический путешественник желает провести в полете. Так, верхняя стрелка в правой части графика показывает, что для достижения ближайшей к нам звезды Альфа Центавра за 30 лет т.е. примерно за половину активного срока жизни человека, необходимо развить 0,2 скорости света.

Кривые, изображенные на рис. 9.1, соответствуют четырем типам космических ракет, различающихся друг от друга количеством содержащегося в них топлива на старте. Возможности современных ракет будут лежать в зоне, ограниченной кривыми, соответствующими отношению веса топлива к полному весу ракеты, равному 0,9 и 0,99. Пунктирная кривая указывает, что даже для самых совершенных ракет будущего ограничения по скорости в момент выключения двигателей наступают при скоростях, значительно меньших скорости света, если не предположить возможность выделения чрезвычайно большой энергии.

На горизонтальной оси рисунка показано количество энергии, которое может быть выделено топливом ракеты. Теоретически наибольшее количество ее выделяется при аннигиляции, т.е. тогда, когда вся материя топлива будет преобразована в энергию в соответствии с уравнением Эйнштейна $E = mc^2$. Для удобства энергию, выделяемую в реальных процессах, можно выразить через отношение ее к энергии аннигиляции. Именно так построена логарифмическая шкала горизонтальной оси графика. Обратите внимание, что даже наиболее мощный из известных в настоящее время науке процессов — ядерный синтез -позволяет преобразовать в энергию не более 1,% массы. В процессе распада урана выделяется еще меньше энергии — не более 1/1000 энергии аннигиляции. И все же при ядерных процессах выделяется энергия, примерно в миллион раз большая энергии при химических реакциях, даже при такой весьма эффективной реакции, как соединение кислорода с водородом (на рис. 9.1 показана у левого края горизонтальной оси). Вертикальная стрелка со знаком «H + H» отмечает теоретическое количество энергии, которое может выделиться в «сверххимических» реакциях соединения нестабильных элементов (свободных радикалов) атомарного водорода (H).

Методы хранения свободных радикалов не известны, так что потенциальные возможности подобного вида ракетного топлива не могут быть реализованы, по крайней мере в обозримом будущем. В этой связи следует также упомянуть, что показанная на рис. 9.1 скорость выключения двигателей ракеты при использовании энергии ядерного распада или синтеза может быть достигнута только теоретически при 100%-ном преобразовании ядерной энергии в кинетическую энергию реактивной струи. Однако ядерные реакторы, даже те, которые могут быть использованы в ракетных двигателях будущего, предусматривают передачу тепла к жидкому рабочему телу и имеют столь низкий коэффициент полезного действия, что реализуемая энергия ядерного распада может превысить энергию обычной химической реакции только в 100 раз, а не в миллион, как это возможно теоретически и показано на рис. 9.1.

По результатам исследований, представленным на рисунке, можно сделать несколько общих выводов относительно возможностей развития ракетно-космической техники:

1. Даже при 100%-ном использовании всей энергии, выделяющейся при самом мощном из из-

вестных процессов — реакции ядерного синтеза, скорость ракеты при реальном коэффициенте масс не может превысить 1/3 скорости света.

2. Ракеты разумного размера, вероятно, смогут выйти за пределы Солнечной системы, когда будут созданы достаточно эффективные средства преобразования ядерной энергии. Однако расстояние до небесных тел за пределами нашей планетной системы настолько велико, что вряд ли мыслимо создать ракету с отношением веса топлива к полному весу, необходимым для полета к ближайшей звезде с возвращением в пределах срока жизни человека.

3. Энергия химических реакций позволит, вероятно, совершать полеты к планетам Солнечной системы, но не за ее пределы.

Для пас очень важно то, что на рис. 9.1 показана возможность установления связи между технической характеристикой (в данном случае скоростью выключения двигателей) и двумя другими параметрами, которые можно назвать параметрами уровня развития техники. Это соотношение веса топлива к полному весу ракеты и отношение энергии топлива к энергии аннигиляции. Для любого периода времени в прошлом, настоящем или в будущем достигнутый уровень развития техники можно охарактеризовать определенной величиной таких параметров. Таким способом можно оценить реальные величины энергии топлива и отношения веса конструкции ракеты к весу топлива (веса топлива к полному весу ракеты), достижимые в будущем. Как видно из рис. 9.1, технический параметр можно очень удачно представить в виде плоской функции этих двух параметров уровня развития техники. Это не означает, Однако, что можно столь же просто построить кривую достижимой скорости выключения двигателей в функции календарного времени или долларовой стоимости разработки соответствующих технических средств. Оценки затрат времени и средств на исследования и разработки повой техники должны быть основаны на детальных исследованиях современного состояния в таких ключевых областях, как жаропрочные материалы, технология производства ракетных топлив, а также на исследованиях оценок средств производства и рабочей силы, необходимых для проведения исследований, конструкторских работ и пр. Как показано в гл. 12, такие оценки чрезвычайно трудны и могут вызвать большие ошибки.

9.3. Параметры уровня развития техники

В левом нижнем углу рис. 9.1 нанесена дополнительная шкала, обозначенная «удельный импульс». Удельный импульс топлива, измеряемый в секундах, представляет число секунд, на протяжении которых 1 *кг* топлива может создать 1 *кг* тяги. Из рисунка видно, что между энергией топлива и его удельным импульсом существует однозначное соотношение, позволяющее достаточно просто охарактеризовать современный уровень развития ракетной техники. Ограничим наш интерес результатами, которые можно получить с помощью современных химических ракетных топлив, и исследуем более подробно нижнюю левую часть рис. 9.1. Для этого рассмотрим рис. 9.2, где интересующая нас техническая характеристика (скорость выключения двигателей), ракеты представлена в линейном масштабе на горизонтальной шкале.

На вертикальной шкале этого рисунка дано в логарифмическом масштабе отношение полного веса ракеты к ее полезной нагрузке. Рассмотрим сначала сплошную кривую слева, построенную для класса одноступенчатых ракет, спроектированных при равном уровне развития техники (удельный импульс топлива 240 *сек).* Такая величина удельного импульса свойственна современным ракетам, использующим углеводородное горючее и жидкий кислород в качестве окислителя. Эта кривая отражает диапазон компромиссных решений, возможных при данном уровне развития техники. По ней видно, что для повышения скорости выключения двигателей необходимо увеличивать размеры ракеты при данной полезной нагрузке и, наоборот, при постоянном начальном

весе ракеты для увеличения скорости прекращения работы двигателей приходится уменьшать вес полезной нагрузки.

Следует отметить, что максимальная величина скорости выключения двигателей ракеты не может превысить 5,4 *км/сек,* т.е. предела, отмеченного вертикальной пунктирной линией. Эта величина характеризует скорость, которую не может превзойти любая одноступенчатая ракета при современном уровне развития техники (при удельном импульсе 240 *сек),* как ни велики были бы размеры ракеты и как бы не был мал вес полезной нагрузки.

Правда, это ограничение скорости также зависит от значения другого параметра развития техники — отношения веса топлива к весу двигательной установки (вес двигателя, топливных баков и топлива). Для простоты это отношение принято равным 0,9 для случаев, показанных на рис. 9.2. Вторая кривая на этом рисунке характеризует влияние на характеристики ракеты увеличения удельного импульса с 240 до 300 *сек.* Этот уровень развития техники производства топлив соответствует высококалорийным жидким топливам типа гидразин — горючее и фтор — окислитель. Кривые для топлива с удельным импульсом 300 и 240 *сек* имеют одинаковый характер. Однако переход на следующий уровень развития техники позволяет либо повысить предел скорости, либо уменьшить полный вес ракеты при постоянных полезной нагрузке и скорости выключения двигателей.

Интересно заметить также, что за счет совершенствования конструкции ракеты можно добиться такого же и даже большего улучшения ее характеристик, как и за счет успехов в развитии техники производства топлив. Эта возможность, также показанная на рис. 9.2, выражается в широко известной концепции многоступенчатых ракет. Эта концепция основана на признании того простейшего факта, что отбрасывание отработавшего оборудования, пустых топливных баков или ракетных двигателей позволяет уменьшить до минимума вес ракеты к моменту прекращения работы двигателей. Штрихпунктирная кривая па рис. 9.2 отражает преимущества перехода от одноступенчатых ракет к двухступенчатым. Следует заметить, что преимущества перехода к двухступенчатым ракетам увеличиваются по мере приближения скорости полета одноступенчатой ракеты к предельной. Предел скорости выключения двигателей двухступенчатой ракеты в нашем случае составляет 12,6 *км/сек.* Как показано на рис. 9.1, такой скорости достаточно для преодоления силы земного тяготения. Число ступеней можно увеличивать дальше, однако это ведет к чрезмерному усложнению конструкции ракеты. Нижняя кривая на рис. 9.2, соответствующая многоступенчатым ракетам, указывает на предельные характеристики, возможные при увеличении числа ступеней ракеты и уровне развития техники, характеризуемом удельным импульсом топлива, равным 300 *сек.*

Интересно отметить еще одну особенность рис. 9.2. На оси ординат дано отношение полного веса ракеты к ее полезной нагрузке. Это позволяет использовать приведенную серию кривых для определения полного веса ракеты, способной нести данный полезный вес. Прямая пропорциональность между полным весом ракеты и весом полезной нагрузки характерна для многих видов транспортных систем. Величина коэффициента пропорциональности (масштабного коэффициента) зависит от значений данной характеристики и уровня развития техники. В нашем примере это будет скорость выключения двигателей и величина удельного импульса. Этот же принцип справедлив для самолетов, автомашин, грузовых поездов, подводных лодок и надводных кораблей. Для этих транспортных систем кривые отношения полного веса к полезной нагрузке представляют собой линии, близкие к прямым, наклон которых зависит от рассматриваемой характеристики и уровня развития техники. Таким образом, понятие «линейный масштаб» часто используют для обозначения прямо пропорционального соотношения между двумя величинами. Общая полезность кон-

цепции масштабности, а также другие масштабные законы и их применение рассмотрены ниже.

9.4. Законы масштабности

Законы масштабности, так же как и закон прямой пропорциональности, показанные на рис. 9.2, используются в проектировании и анализе систем по трем причинам:

1) они упрощают понимание главных связей, как в материальных системах, так и в анализе сложных ситуаций, где исследователь должен учитывать много переменных. Там, где анализом установлено, что результаты исследования зависят от малого числа переменных, связь между ними обычно можно выразить в виде относительно простых масштабных законов;

2) там, где действуют масштабные законы, расчеты можно резко упростить и удешевить, так как расчета, выполненного однажды (рис. 9.2), может быть достаточно, чтобы охарактеризовать бесконечно большое количество ситуаций;

3) масштабные законы позволяют также применить информацию и опыт, накопленные в исследовании одной проблемы, для решения другой. На этом основана возможность использования аэродинамических труб для испытания самолетов на моделях или испытания ядерного оружия при уменьшенной мощности заряда, что дает очевидные экономические преимущества.

Покажем теперь на примере анализа проблемы связи между двумя космическими кораблями (рис. 9.3, *а)* некоторые простые следствия действия нелинейных масштабных законов. Предположим, что передатчик космического корабля имеет мощность P_t и круговую диаграмму излучения. Энергия передатчика распространяется в космическом пространстве во фронте сферической волны и часть ее достигает приемника другого корабля, находящегося на расстоянии r.

Если антенна приемного устройства космического корабля имеет эффективную площадь A_t то доля энергии принимаемого сигнала точно пропорциональна доле излучаемой мощности, содержащейся в сферическом фронте волны, падающей на антенну приемного устройства:

$$P_t = P_t \frac{A_t}{\quad} \qquad (1)$$

Такое уравнение эквивалентно $Pt \sim P_1 r^2$, и если необходимо поддерживать величину напряженности принимаемого сигнала равной P_1 то мощность передатчика должна изменяться пропорционально P_1 и квадрату расстояния между кораблями. Здесь мы встречаемся одновременно с линейным и квадратичным масштабными законами, поскольку требуемая мощность передатчика изменяется линейно по отношению к мощности принимаемого сигнала и одновременно обратно пропорциональна квадрату расстояния между приемником и передатчиком. Заметим, что здесь нет ограничения по расстоянию, на которое может быть передан сигнал в вакууме, ибо в принципе увеличение расстояния всегда можно компенсировать увеличением мощности передатчика. Например, если мы будем сравнивать мощность, необходимую для передачи сообщения с Земли на искусственный спутник, высота орбиты которого составляет 300 *км,* с мощностью, необходимой для передачи сигнала на лунный аппарат, летящий на расстоянии 280 тыс. *км* от Земли, то обнаружим, что требуемая мощность увеличится в миллион раз, поскольку дальность связи увеличилась в тысячу раз.

Обратимся теперь к проблеме радиолокационной станции (РЛС), которую можно рассматривать как частный случай решения общей задачи о двухсторонней связи (рис. 9.3, *б).* Для РЛС другой космический корабль или любая радиолокационная цель представляет собой по-

верхность, отражающую сигналы передатчика. Эта поверхность в общем случае не является плоским зеркалом и не отражает энергию точно по тому направлению, откуда она поступила. Она действует, скорее, как ретранслятор, переизлучающий полученную им энергию во всех направлениях. Если доля мощности, переизлучаемой радиолокационной целью с площадью *AI* составляет *a,* то мощность сигнала в приемной антенне РЛС с эффективной площадью A_2 будет представлена уравнением, аналогичным уравнению (1):

$$P_2 = \frac{a P_1 \frac{A_2}{2^2}}{\pi r^2}, \quad (2)$$

$$\frac{\frac{A_2}{2^2}}{\pi r^2}$$

есть не что иное, как отношение площади антенны РЛС к площади поверхности полусферы, в которой, по условию задачи, распространяется отраженный сигнал. Заменяя P_1 в уравнении (2) его значением из уравнения (1), получим значение мощности принимаемого РЛС сигнала как

$$P_2 = \frac{a P_t \frac{8}{\pi^2}}{r^4}, \quad (3)$$

Уравнение (3) представляет собой одну из форм хорошо известного уравнения радиолокатора, обусловливающего, что при заданных мощности передатчика, эффективной отражающей площади цели и. площади приемной антенны мощность принимаемого сигнала обратно пропорциональна четвертой степени расстояния между целью и передатчиком РЛС.

Если же необходимо, чтобы мощность отраженного сигнала составляла определенную величину P_2, то мощность передатчика должна изменяться прямо пропорционально четвертой степени расстояния до цели r. Переходя в рассмотренном примере от односторонней связи к двухсторонней, получим, что мощность, необходимая для радиолокационного наблюдения лунного аппарата, будет в 10^{12}, или тысячу миллиардов, раз большей, чем для наблюдения искусственного спутника Земли с такой же эффективной площадью на орбите высотой 380 *км.* В этом нет ничего удивительного, и отсюда следует необходимость установки на космических аппаратах аккумуляторных батарей или других источников энергии для питания радиомаяка в системе слежения за полетом. Тогда вступает в действие квадратичный масштабный закон, свойственный односторонней радиосвязи, и проблема слежения значительно упрощается.

Другая область техники, где широко используют масштабные законы,— испытания обычных или ядерных боеприпасов. Здесь энергия от точки взрыва также распространяется в виде сферической ударной волны. Тогда в центре сферы на рис. 9.3, *а* можно представить вместо передатчика взрывающийся заряд. Рассматривая ударный эффект сферической взрывной волны, можно видеть, что мощность заряда, необходимого для создания заданной величины избыточного давления, будет пропорциональна объему воздуха в сфере, поверхность которой проходит через интересующую нас точку. Отсюда следует, что требуемая мощность заряда пропорциональна кубу радиуса сферы. И наоборот, радиус поражения (радиус сферы, в пределах которой будет создано избыточное давление, достаточное для разрушения данного типа конструкции) будет прямо пропорционален корню кубическому из мощности заряда.

Такому же масштабному закону подчиняется и ряд других характеристик ядерного взрыва в атмосфере: время прибытия ударной волны, длительность ее импульса положительного давления,

полная величина импульса, действие ударной волны на конструкцию и пр. Кубический закон можно также применить к изучению последствий наземного ядерного взрыва. Так, диаметр кратера, созданного при взрыве, будет пропорционален корню кубическому от мощности заряда. Однако этот закон справедлив не для всех характеристик ядерного взрыва. Глубина кратера при наземном взрыве будет точнее выражена законом корня четвертой степени от мощности заряда.

В то же время максимальная тепловая энергия и некоторые другие термические характеристики ядерного взрыва можно представить с помощью квадратичного масштабного закона от мощности заряда.

Масштабные законы подобного типа могут быть особенно полезны для испытаний ядерного оружия, где они позволяют существенно сократить число испытательных взрывов, организация которых чрезвычайно сложна и дорога. Масштабные законы позволяют по данным, полученным при испытаниях оружия одной мощности, определить результаты воздействия ядерного взрыва другой мощности. Масштабные законы можно также использовать для оценки эффекта взрыва на высотах, отличных от высоты, на которой были проведены испытания. Масштабные законы позволяют существенно сократить затраты на эксперименты и расчеты в тех областях техники, где их можно использовать. Однако существуют пределы применимости масштабных законов. Некоторые из них рассмотрены ниже.

9.5. Оптимум и ограничения

Для иллюстрации некоторых ограничений применимости масштабных законов, а также для показа некоторых особенностей субоптимизации, с которыми часто встречаются при выборе оптимальной конструкции, рассмотрим пример выбора технических характеристик дозвукового турбореактивного транспортного самолета. Важные для нас результаты анализа показаны на рис. 9.4. Рассмотрим сначала данные, представленные сплошными кривыми. Каждая точка верхней кривой соответствует одному из вариантов самолета, рассчитанного на доставку 11,5 *т* груза на расстояние 6500 *км* при расчетной крейсерской скорости, показанной на горизонтальной шкале. На кривой, расположенной ниже, представлена серия вариантов аналогичного, но несколько большего по размерам самолета, способного доставить 23 т груза на то же расстояние.

По вертикальной шкале отложен так называемый «индекс стоимости» доставки, представляющий собой стоимость (в центах) перевозки 1 *т* груза на 1 морскую милю, что служит мерой прямых эксплуатационных расходов этих самолетов. Общая форма этих кривых, позволяющая определить минимальную крейсерскую скорость полета, при которой стоимость будет минимальной, образована под воздействием двух противоположных факторов. Первый — увеличение крейсерской скорости позволяет уменьшить долю слагающих стоимости, зависящих от времени полета,— оплата экипажа и амортизационные расходы.

Второй — увеличение крейсерской скорости сверх определенного уровня влечет за собой увеличение стоимости самолета за счет ухудшения его аэродинамических и конструкционных качеств.

То обстоятельство, что самолеты с расчетной полезной нагрузкой 11,5 и 23 *т* имеют различные кривые индекса стоимости, свидетельствует о невозможности использования линейного масштабного закона для транспортных систем. Поскольку индекс стоимости складывается из отношения стоимости доставки тонны полезного груза к морской миле, можно было бы ожидать, что он от грузоподъемности не зависит и будет одинаков для обоих самолетов. Однако это не так,

и причины ясны из табл. 9.1.

Таблица 9.1 — Характеристики самолетов с расчетной крейсерской скоростью 650 км/час

Расчетный полезный груз, кг	Полный вес, кг	Отношение полного веса к расчетному полезному грузу	Индекс стоимости (цент/тонна на морскую милю)
11,5	66,5	6	7,1
23	112	5	5,4
45	225	5	5,1

В таблице показаны характеристики самолетов с расчетным полезным грузом 11,5, 23 и 45 *т.* Из третьей графы видно, что отношение полного веса самолета к расчетному грузу составляет от 6: 1 для меньшего самолета и 5: 1 для двух других. Причина заключается в том, что все самолеты независимо от их размеров имеют ряд общих элементов — кабину экипажа, отсек радиооборудования и прочие, вес и объем которых составляют большую долю общего веса и объема легких самолетов, чем тяжелых. Однако это явление в нашем случае перестает сказываться на самолетах с весом, большим 11,5 *т* и здесь вступает в силу закон линейной зависимости между полным весом и расчетным полезным грузом самолета. Как видно из последней графы таблицы, это явление аналогично сказывается также на стоимости перевозок (индекс стоимости) для этих самолетов. Причины этого одинаковы: дело в том, что постоянная слагающая стоимости — денежное содержание и дополнительные выплаты экипажу, первоначальная стоимость и некоторая часть стоимости технического обслуживания для малых самолетов — составляют большую долю полной стоимости, чем для самолетов большей грузоподъемности. Уменьшение относительной стоимости перевозок при увеличении расчетного полезного груза транспортного самолета встречается часто также в анализе других транспортных систем при их субоптимизации. Однако следует учитывать также и то, что для некоторых объемов грузопотоков или видов груза уменьшение численности самолетов за счет увеличения их грузоподъемности может вызвать трудности в разработке расписания рейсов или удорожание перевозок, если тяжелые самолеты будут систематически возить груз меньше расчетного. Стоимостные характеристики самолетов, приведенные на рис. 9.4, этого обстоятельства не учитывают, ибо они построены из предположения, что самолеты несут расчетный полезный груз.

Причины, позволяющие создавать самолеты с минимальной стоимостью, были указаны выше. Следует также упомянуть, что кривая стоимости имеет относительно «плоский» характер в том смысле, что при изменении расчетной крейсерской скорости самолетов от 550 до 725 *км/час* индекс стоимости изменяется в пределах 10% от минимального значения.

Таким образом, если исходить только из соображений, Положенных в основу построения графиков, показанных на рис. 9.4, то можно заключить, что изменение крейсерской скорости самолета в пределах 1/3 от теоретически оптимальной сказывается на изменении индекса стоимости так слабо, что величину скорости при проектировании следует выбирать, по-видимому, не из рассмотренных выше соображений, а из других. Тогда другие факторы могут сказаться на индексе стоимости в большей степени, чем рассмотренные вариации крейсерской скорости.

Плоский характер таких кривых в зоне минимума не является исключением. Опыт корпорации РЭНД дает основания полагать, что такой вид изменения кривых при выборе оптимальных вариантов по техническим или экономическим параметрам имеет общий характер. Таким образом, появление крутых экстремумов в анализе на оптимальность должно вызывать подозрение у иссле-

дователя. Появление крутого оптимума свидетельствует обычно о том, что на некотором этапе анализа были введены, часто не умышленно, искусственные ограничения, что не дало возможности правильно выбрать оптимальный вариант некоторых существенных элементов конструкции системы или методов ее эксплуатации. Иногда такие искусственные ограничения вводят сознательно, так как они являются неотъемлемой частью явления, которое исследователь стремится выразить в приближенном виде. Возможность использования подобных ограничений показана на рис. 9.4 пунктирными линиями.

Каждая точка сплошных кривых характеризует вариант самолета, отличающегося расчетными величинами крейсерской скорости и полного веса. Это предполагает, что мощность его двигателей или их число также изменяется. Пунктирные кривые отражают варианты самолетов, которые могут иметь либо тот, либо другой тип силовой установки. Эти кривые построены в предположении, что тяга двигателей остается постоянной и соответственно с увеличением скорости полета должны уменьшаться полный вес и расчетный полезный груз. Кривизна пунктирных кривых значительно больше, чем сплошных, так как жестко оговорено, что двигатели должны сохранять постоянную тягу при увеличении скорости полета. Рассмотрим возможные последствия такого ограничения.

Возьмем крайний случай и предположим, что по техническим условиям необходимо разработать проект четырехмоторного самолета для доставки 11,5 m груза на расстояние 6500 *км.* Предположим также, что имеется только один тип двигателя, номинальной тягой 6,5 т, и других двигателей не существует. При столь неблагоприятных обстоятельствах у конструктора не остается другой возможности, как создать самолет, охарактеризованный треугольником на верхней кривой. Такой самолет будет обладать высоким индексом стоимости — 11 центов на тонно-милю, так как наличие мощного двигателя у относительно легкого самолета обусловливает величину расчетной скорости, значительно большей необходимой для экономной эксплуатации. Если, однако, требования к полезной нагрузке самолета выразить более расширенно, указав, например, что расчетный полезный груз должен быть в пределах от 9 до 21 *m,* то конструктор сможет за счет уменьшения крейсерской скорости примерно на 20% создать самолет, характеризуемый на нижней кривой треугольником, для которого индекс стоимости примерно в два раза меньше, чем в первом случае. Из этого примера можно сделать вывод, что всегда, если возможно, технические требования следует задавать в виде, позволяющем конструктору изыскивать среди многих вариантов наилучший. Это особенно необходимо в тех часто встречающихся на практике условиях, когда неизбежные ограничения (например, отсутствие силовых установок желаемого типа) резко сокращают число возможных компромиссов.

9.6. Фактор надежности

Ранее мы определили понятие «техническая характеристика» как величину, выражающую возможности некоего технического средства. Вероятно, точнее было бы эту мысль выразить как возможности технического средства, если все его элементы будут действовать должным образом. Если один или более элементов самолета или ракеты, например, действуют неправильно или полностью выходят из строя, то характеристики системы в целом могут быть существенно хуже расчетных. Возможны даже катастрофические последствия. Анализ надежности занимается главным образом двумя сторонами этой проблемы: 1) стремится оценить вероятность появления подобных отказов и 2) оказать помощь в выборе конструкции и методов эксплуатации оборудования, позволяющих уменьшить вероятность отказа в работе системы в целом или ее элементов или уменьшить хотя бы степень опасности последствий подобных отказов. Рассмотрим некоторые проблемы и принципы анализа надежности на примере анализа опасности режимов вертикального взлета и перехода к горизонтальному полету многомоторного самолета с верти-

кальным взлетом.

На рис. 9.5 представлена схема рассматриваемой ситуации. Самолет совершает вертикальный взлет под воздействием силы тяги нескольких реактивных двигателей (число их не оговорено). Затем, когда самолет достигнет высоты, необходимой по условиям безопасности полета и по требованиям к уровню шума двигателей, вектор тяги наклоняется вперед и самолет плавно переходит к горизонтальному полету. Рассмотрим возможные последствия выхода из строя одного из двигателей самолета при различных высотах полета. Если двигатель отказывает до взлета, во время рулежки, то все оставшиеся двигатели можно выключить без какой-либо опасности для самолета или его экипажа. Если это военный самолет и вылет связан с выполнением боевой задачи, то такое событие, естественно, будет крайне нежелательно.

Если отказ двигателя произойдет после подъема самолета ка несколько метров над поверхностью аэродрома, то последует удар о землю с большей или меньшей силой, однако амортизаторы посадочного устройства позволят предупредить повреждение самолета, а экипаж не пострадает. Если двигатель прекратит работу на несколько большей высоте, то летчик может совершить управляемую аварийную посадку, тогда самолет, возможно, будет более или менее серьезно поврежден, однако экипаж и здесь не пострадает. В этом случае не только будет сорвано решение задачи полета, но и сам самолет может выйти из строя на продолжительное время.

Если двигатель откажет на еще большей высоте, то даже при управляемой посадке может пострадать экипаж, а самолет будет разрушен. При отказе двигателя на еще большей высоте, приблизительно на высоте порядка 60 *м,* экипаж самолета катапультируется и безопасно опустится на парашютах, а самолет разрушится. Если двигатель выйдет из строя уже после перехода к горизонтальному полету, то вполне возможно, что удастся совершить обычную горизонтальную посадку, и, хотя задание будет сорвано, самолет и экипаж, вероятно, не пострадают. Наконец, можно считать, что в подавляющем большинстве случаев двигатели будут работать исправно и самолет сможет завершить переход к горизонтальному полету и выполнить свою задачу как положено.

Вероятность каждого последствия аварии зависит, естественно, от ряда факторов: степени надежности каждого из двигателей, т.е. вероятности его отказа на взлете, числа двигателей самолета, характера траектории взлета и перехода к горизонтальному полету и пр. На рис. 9.6 приведены в качестве примера некоторые результаты вычисления этих величин. На горизонтальной оси показано количество двигателей самолета, а па вертикальной оси в логарифмическом масштабе — вероятность каждого из рассмотренных событий. Все кривые построены в предположении, что вероятность выхода из строя любого двигателя в любой момент времени в процессе взлета и перехода к горизонтальному полету составляет 1% (P = 0,01). Ординаты кривых, приведенных на рис. 9.6, подчиняются линейно-масштабному закону. Это означает, что величины шкалы ординат представляют собой фактически отношение вероятностей наступления одного из событий (прекращение полета, срыв задания, разрушение самолета и пр.) к вероятности отказа любого из двигателей.

Как показывает верхняя кривая, вероятность срыва задания с увеличением числа двигателей увеличивается, так как чем больше двигателей у самолета, тем большая вероятность отказа одного из них. Очевидно, что наибольшую надежность выполнения задания сможет обеспечить одномоторный самолет.

Вероятность повреждения самолета при отказе двигателей в процессе взлета и перехода к горизонтальному полету также зависит от их числа. Однако при любом числе двигателей вероятность

повреждения самолета всегда будет несколько меньше вероятности срыва задания, поскольку отказ двигателя может произойти или на земле, или в самом начале взлета. С увеличением числа двигателей, например до 12 и более, выход из строя одного двигателя не имеет серьезных последствий, так как тогда суммарная тяга двигателей уменьшается незначительно и самолет сможет приземлиться с малой посадочной скоростью. Однако даже

при большом числе двигателей вероятность повреждения самолета уменьшается не до нуля, а только до некоторого уровня, поскольку существует вероятность одновременного отказа двух двигателей и последующей аварии самолета. Как видно по характеру конечного участка средней кривой, вероятность аварии в случае отказа двух двигателей будет также увеличиваться, хотя и медленно, с увеличением общего числа двигателей самолета.

Самая нижняя кривая рис. 9.6 демонстрирует вероятность того, что экипаж может пострадать при аварии самолета. Однако эта вероятность всегда будет меньше, чем вероятность повреждения самолета, ибо остается возможность посадки самолета без аварии, или катапультирования при отказе двигателя на высоте полета выше критической.

Цель рис. 9.6 заключается не в том, чтобы сообщить читателю некоторую количественную информацию, а чтобы указать ему на два важных обстоятельства. Первое заключается в следующем: количественная мера надежности сама по себе почти не имеет смысла, так как расчетная величина надежности технических средств сильно зависит от критерия, принятого для оценки надежности. Так, в рассмотренном нами примере вероятность срыва задания самолета с 12 двигателями примерно в тысячу раз больше, чем вероятность того, что экипаж пострадает при аварии. Естественно, вопрос о выборе критерия надежности нельзя решить только на основе расчетов, подобных приведенным выше. Выбор одного приемлемого критерия надежности из числа рассмотренных либо другого должен основываться на широком анализе задач, решаемых данным вертикально-взлетающим самолетом в составе военной или гражданской транспортной системы.

Второе обстоятельство заключается в том, что надежность не обязательно будет гладкой или монотонной функцией числа элементов системы, вроде двигателей самолета в пашем примере. Так, если требуется свести к минимуму вероятность ранения экипажа, а создание самолета с 12 или более двигателями нежелательно из-за трудностей его обслуживания, то по соображениям надежности будет целесообразнее избрать одномоторный самолет (если имеется двигатель нужной мощности), а не самолет, имеющий некоторое промежуточное число двигателей, например 6.

К сожалению, кривые на рис. 9.6 построены на основании совершенно нереальных предположений, сделанных для упрощения. Так было принято, что все двигатели независимо от их мощности имеют равную вероятность отказа — 0,01%. Однако в действительности двигатели разной мощности, выпускаемые разными фирмами, имеют различную компоновку деталей, детали работают в разных условиях и т.д. Их вероятность выхода из строя в определенный промежуток времени также различна. Последствия подобного различия в надежности двигателей показаны в табл. 9.2.

Таблица 9.2

Число двигателей, N	Вероятность отказа двигателя P_1	Вероятность того, что экипаж может пострадать P_2 (из рис. 9.6)	
10	0,01	0,6	0,6 x 0,01 = 0,0060

6	0,001	1,1	1,1 x 0,001 = 0,0011

Данные первой строки таблицы соответствуют самолету с десятью двигателями, каждый из которых может отказать с вероятностью, равной 0,01, которая была положена в основу расчета кривых рис. 9.6. Как показано на нижней кривой рисунка, вероятность выхода из строя экипажа в этом случае составляла 0,006. Во втором случае мы рассматриваем самолет с шестью двигателями большей мощности и надежности, вероятность выхода из строя которых составляет только 0,001. В результате вероятность того, что экипаж пострадает при аварии, будет 0,0011, т. е. в 5 раз меньше, чем в первом случае.

Задача главы заключается в том, чтобы указать на некоторые технические факторы, которые имеют большое значение в анализе, связанном с подготовкой военных решений. Это выполнено с помощью нескольких примеров, взятых из различных областей техники. Хотя эти примеры интересны сами по себе, их главное назначение заключается в иллюстрации следующих основных положений:

1. Технические характеристики (скорость или высота полета) служат только мерой физических возможностей технических средств, а не мерой их военной или экономической ценности.

2. Исходя из определенных представлений о современном уровне развития техники (например, из возможной величины удельного импульса ракетного топлива), можно оценить основные технические характеристики перспективных технических средств (например, ракет-носителей), но не сроки и стоимость их разработки.

3. Отдельные конструктивные решения, например использование многоступенчатых ракет вместо одноступенчатых, позволяют серьезно увеличить возможности современных технических средств.

4. Масштабные законы чрезвычайно полезны для понимания основных физических связей в системе и для сокращения объема вычислений и экспериментов при анализе. Однако следует учитывать свойственные им ограничения, особенно при анализе экономических факторов.

5. Кривые физических или экономических параметров в зоне оптимальности обычно имеют плоский характер, если они не связаны с искусственными ограничениями.

6. Если реальные условия ограничивают возможный диапазон выбора вариантов технических средств, то технические условия следует задавать в возможно более гибкой форме, чтобы конструктор имел возможность выбрать наилучший для заказчика компромиссный вариант.

7. Критерии (или критерий), по которым измеряется надежность, должны быть четко оговорены.

10. ПРЕДПОЛОЖЕНИЯ О ПОВЕДЕНИИ ПРОТИВНИКА

Т. С. Шеллинг

10.1. Введение

В любом анализе, который приводит к выбору конкретной стратегии или системы оружия из нескольких альтернатив, обычно исходят из некоторого предположения о поведении противни-

ка. Если четкая формулировка этого предположения не дается, оно приводится в какой-то части анализа. Система оружия или стратегия, которая нам кажется лучшей, обычно находится в зависимости от того, какая система оружия или стратегия предполагается у противника.

Может показаться, что мы всегда для большей надежности предполагаем, что противник для нас будет делать только самое худшее. Но самое худшее, что он может сделать нам, не обязательно самое лучшее, что он может сделать для себя. Например, идея *устрашения* основывается на возможности сделать самое худшее для нас (нанесении нам внезапного удара), которая равносильна весьма неприятным последствиям для противника (нанесению ответного удара). Поэтому предполагать, что он просто предпримет самое худшее, это значит предполагать неизбежность войны до конца.

Но даже в случаях, когда наши интересы и интересы противника строго противоположны, мы все же не в состоянии точно определить поведение противника путем простого предположения, что он сделает самое худшее. Причина этого в том, что он находится в почти таком же положении, в котором находимся мы. В то время как наш лучший выбор зависит от того, что собирается сделать он, его лучший выбор зависит от того, что собираемся сделать мы. Когда мы проектируем нашу систему доставки бомб, мы хотим знать, какую ПВО собирается иметь противник. Когда он проектирует свою ПВО, он хочет знать, какую систему доставки бомб собираемся иметь мы. В то время как мы пытаемся использовать слабость системы противника, он пытается использовать слабость нашей системы. Единственное верное предположение, которое мы можем сделать, заключается в том, что противник будет приспосабливаться. В меру своих способностей он будет приспосабливать свою систему к тому, что он знает или может предсказать в отношении нашей системы.

Это значит, что нам приходится проводить исследования систем за противника и за себя. Чтобы предвидеть его стратегию и выбор оружия, мы должны взглянуть на эту проблему с его точки зрения. И хотя, естественно, имеются различия в деталях в отношении нашего изучения его проблемы и своей собственной, логика исследования систем требует от нас игры с обеих сторон.

Мы можем отнести эту проблему к более широкой области планирования в условиях неопределенностей. Почти при любом анализе альтернативных систем оружия мы встречаемся с неопределенностью. Одним из многих источников неопределенности является сам противник. Мы не знаем столько, сколько нам хотелось бы знать о том, как он действовал бы в войне, как хороша его техника, как быстро осуществляются его исследования и разработки, как сплочены его союзники и т.д. Среди этих неопределенностей, касающихся противника, имеется несколько таких, которые особенно интересны, так как они связаны с *решениями,* которые он собирается принять. Они связаны с тем, что *он* знает или о чем догадывается в отношении того, что *мы* можем сделать, и в отношении решений, которые *мы* собираемся принять. Говоря другими словами, имеются определенные решения, принимаемые нами и противником, в которых мы пытаемся угадать действия друг друга и избежать того, чтобы наши действия были угаданы, и делаем попытку приспособиться к решениям и выбору, уже сделанными каждым из нас, и предвидеть выбор или решения, к которым каждый из нас должен прийти. Именно этот конкретный вид неопределенности рассматривается в данной главе.

Я хотел бы предупредить читателя заблаговременно о том, что, когда мы пытаемся подойти вплотную к этому конкретному виду неопределенности, мы должны иметь дело с чем-то неуловимым. Мы имеем дело, скорее, с ожиданиями противника, чем с его возможностями. Даже более того, мы имеем дело не просто с ожиданием противника о будущих событиях, а с его ожиданиями того, что мы ожидаем от него. Возможно, это не очень удобный вид анализа, которым следует

заниматься, но более утешительного выбора здесь сделать нельзя. Если мы примем оптимистическое предположение о том, что можем угадать действительные намерения противника, или о том, что при любом нашем действии он будет поступать точно так, как мы хотели бы, то в этом случае мы будем основывать всю нашу стратегию на опасном предположении, будто наш противник глуп. Если мы впадем в другую крайность и сделаем осторожное предположение, что при выборе нами любого действия противник всегда будет заблаговременно угадывать наши действия, мы не только будем пессимистами и упустим, вероятно, некоторые возможности, но и будем предполагать, что противник знает, какие решения мы собираемся принять до того, как мы их приняли. Любая из этих крайностей настолько неудовлетворительна, что независимо от того, нравится она или нет, нам придется изобрести какое-нибудь средство для того, чтобы справиться с тем неуловимым, о чем говорилось выше.

10.2. Пример проблемы выбора системы оружия из нескольких ее вариантов

Мне хотелось бы рассмотреть проблему на конкретном примере. Но при этом возникает дилемма. Если взять действительный пример проблемы, над которой работала РЭНД, то он будет слишком обширный, чтобы его можно было изложить кратко, и слишком сложным, чтобы я мог разъяснить свои взгляды. С другой стороны, я мог бы рассматривать обозначения *A, B и C и X,* Y и Z, которые обладают достоинством подлинности в отношении своей гипотетической природы, но не достаточно ярки, чтобы они запечатлелись в памяти. Я собираюсь пойти на компромисс, т.е. буду говорить о проблеме выбора системы оружия для бомбардировки противника из трех гипотетических альтернатив A, B и C, но для большей наглядности примера дам стратегиям описательные названия. Чтобы сделать этот пример доступным пониманию, я собираюсь пойти на профанацию фактов и наделить эти виды нападения определениями, что, скорее, позволит сделать рассмотрение исчерпывающе наглядным, чем дать ряд правильных оценок.

Стратегия нападения *A* будет связана с использованием авиации ближнего действия, базируемой вблизи границ противника. Стратегия *B* основывается на ударе межконтинентальными средствами нападения по ломаному маршруту полета, сводящему к минимуму дальность полета над территорией противника. Стратегия нападения *C* предусматривает нанесение удара межконтинентальными средствами нападения по маршруту, позволяющему расходовать минимум горючего. Мы будем предполагать, что базируемые за пределами метрополии бомбардировщики из-за их уязвимости при контрнападении на их базы имеют малую вероятность выдержать более одного удара, в то время как межконтинентальные системы обладают более безопасной системой базирования. Поэтому для стратегий нападения B и C требуется меньшее количество более дорогостоящих бомбардировщиков, способных к неоднократному нанесению удара. Эти стратегии отличаются друг от друга тем, что при нападении *B* бомбардировщик меньше находится над территорией противника, а при нападении C он может показать более высокие характеристики благодаря более краткому времени полетай меньшей зависимости от дозаправки в воздухе, а также дать некоторую экономию при использовании заправщиков, что позволит приобрести несколько большее количество бомбардировщиков. Суммируя

сказанное, получаем:

нападение A = удару, наносимому с баз за пределами метрополии,

нападение B = межконтинентальному удару при минимальной дальности проникновения,

нападение C = межконтинентальному удару при минимальной дальности полета.

Против любой из этих трех систем бомбардировки противник мог бы изобрести «лучшую» оборону. Под ней я понимаю лучшую оборону против конкретного нападения, для борьбы с которым она предназначается. Мы предположим, что варианты стратегий обороны противника отличаются друг от друга двумя основными факторами. Первый фактор — место расположения обороны: против нападения С они будут базировать свои средства перехвата в общем направлении па Соединенные Штаты, в то время как против нападения, совершаемого с баз за пределами метрополии США или осуществляемого по ломаному маршруту полета, они будут распределять свои средства перехвата более широко.

Во-вторых, их вооружение находится в зависимости от того, ожидают они одно большое нападение с недалеко отстоящей и весьма уязвимой системы американских баз или неоднократных ударов, наносимых меньшим количеством бомбардировщиков дальнего действия. (Например, необходимость перехвата американских бомбардировщиков на пути домой от цели зависит от системы, используемой американцами.) Суммируя, получаем:

оборона A^1 — лучшая против нападения A,

оборона B^1 — лучшая против нападения B,

оборона C^1 — лучшая против нападения С.

Эту проблему делает интересным то обстоятельство, что оборона противника, являющаяся лучшей против одного конкретного из наших трех нападений, может оказаться не самой лучшей против всех трех наших стратегий. Поэтому противник, возможно, будет не в состоянии выбрать себе систему оружия для обороны против наших нападений, если не сможет угадать, к какому решению мы придем при выборе одного из трех наших видов нападений. Но точно так же наш выбор из трех имеющихся стратегий нападения зависит от догадки, какую оборону наше нападение должно прорывать. Иначе говоря, я намерен утверждать, что мы не можем позволить себе роскошь «доминирующей» стратегии, т.е. стратегии, которая является *высшей* среди других ее вариантов независимо от того, какую оборону выберет противник. Далее, в моем примере ни одна из трех стратегий также определенно не хуже двух остальных. В отношении любой из трех наших стратегий нападения можно смело утверждать, что каждая из них является лучшей по сравнению по меньшей мере с одним типом обороны противника.

Подход к проблеме выбора. Как нам решить, какую выбрать стратегию? Первое, что следует заметить, это то, что и мы и противник имеем сравнимые проблемы; наши ситуации аналогичны до тех пор, пока каждый из нас не раскроет преждевременно свои намерения. Фактически мы должны угадать, что противник предположит в отношении наших намерений. Иначе говоря, мы должны в этой игре играть за обе стороны, чтобы сформулировать, что разумно сделать нам, если противнику удастся сделать то, что разумно с его точки зрения.

В качестве первого шага мы можем разделить наши три возможные стратегии на «лучшую», «сред-

нюю» и «худшую» по отношению к каждой из трех стратегий обороны в отдельности. Сделав это, можно получить таблицу оценки стратегий нападения (табл. 10.1).

По таблице следует сделать три замечания. Во-первых, она составлена на основе того, что мы могли бы назвать «объективными» оценками, т.е. ее данные зависят от нашей оценки исхода ряда конкретных столкновений. *Суждения, выраженные в этой таблице, не содержат предположения о выборе стратегии противником.* Они просто учитывают все возможные ходы поведения противника и все возможные ходы за нас. Решение вопроса, какая из стратегий, *A* или *B,* лучше при учете всех факторов, зависело бы от того, какие действия мы ожидаем от противника; для решения вопроса, какая из стратегий, *A* или *B,* лучше против обороны A^1, нам необходимо только определить, что случится, если *A* встретится с A^1, а *B* встретится с A^1, и какая из двух стратегий выглядит для нас лучшей.

Во-вторых, нельзя сделать выбор между стратегиями *A*, *B* и C, если мы не можем предположить относительную вероятность стратегий A^1, B^1 и C^1.

В-третьих, когда противник рассматривает *свою* проблему выбора, он предположительно проводит те же самые сравнения, но применительно к нашим действиям. Если исход столкновения стратегий *A* с A^1 выглядит худшим для нас по сравнению со случаем столкновения стратегий *B* с A^1, он должен выглядеть лучшим для противника.

Таблица 10.1 — Оценка стратегий нападения

Нападение	Оборона		
	A^1	B^1	C^1
A	Худшая	Лучшая	Лучшая
B	Средняя	Худшая	Средняя
C	Лучшая	Средняя	Худшая

Мы могли бы рассматривать эту проблему в одном из двух направлений. Одно направление — это поиски способа получения оценки относительной вероятности A^1, B^1 и C^1. Здесь проблема становится круговой. Выбор, который будет делать противник, зависит от того выбора, который, по его мнению, собираемся сделать мы. И если этот вопрос остается открытым, то нет возможности делать на его основе вывод о том, что будет предпринимать противник и, следовательно, что должны делать мы.

Уточнение оценок. Другое направление заключается в том, чтобы сравнивать имеющиеся альтернативы более Детальным образом. Вместо сравнения в каждой колонке (т.е. с каждым видом обороны противника) трех видов нападений сравним все девять возможных исходов столкновений, чтобы увидеть, какой из них самый лучший, какой менее хорош и так далее до девятого лучшего исхода. Сделаем оценку, т.е. определим результаты нападения *A* против обороны A^1, нападения A против обороны B^1, нападения *B* против обороны B^1 и так далее для всех девяти сочетаний стратегий. При этом мы оцениваем такие моменты: сколько уничтожено целей, сколько мы потеряли самолетов, как это отражается на исходе войны и т.п. Для простоты расположим все возможные девять результатов по порядку в зависимости от уничтоженных целей и предположим, что это даст результаты, приведенные в табл. 10.2, где единица соответствует случаю, когда уничтожается большинство целей. В таблице фактически суммируется в относительных единицах тщательный подсчет количества уничтоженных целей для каждого из девяти различных случаев. С помощью этой таблицы мы снова имеем основания предполагать, что мнение противника об относительной желательности этих результатов противоположно нашему. Если нашей задачей является нанесение максимального ущерба, то его цель —

сведение этого ущерба к минимуму. Если мы в первую очередь выберем из девяти случаев один, который приводит к наибольшему количеству уничтоженных целей, то противник выберет этот случай в девятую очередь.

Таблица 10.2 — Относительная выгода использования США разных стратегий нападения

Нападение	Оборона		
	A^1	B^1	C^1
A	9	2	1
B	4	7	6
C	3	5	8

Теперь мы можем перефразировать рассматриваемую проблему следующим образом. У нас и у противника есть выбор между тремя стратегиями. Имеется девять возможных результатов. Мы произвели оценку, позволяющую нам установить, в каком порядке предпочтительны для нас эти девять результатов и одновременно в каком порядке они Предпочтительны для противника; последний порядок является обратным нашему. И противник и мы рассматриваем эту таблицу и каждый пытается сделать выбор, который разумен в том смысле, что он совместим с лучшей попыткой другого сделать свой собственный разумный выбор. Вот наша шахматная партия. Но прежде чем ломать себе голову, пытаясь ее выиграть, давайте посмотрим, не упрощается ли она в отдельных случаях.

Время и разведывательная информация. Сначала подумаем о том, кто сделает первый ход. Предположим, что нам пришлось выбирать между стратегиями *A*, *B* или С до того, как противник поставил себя перед выбором между этими стратегиями. (Таким случаем может быть наше нападение, если бы нам на создание средств нападения потребовалось больше времени, чем противнику для закупок самолетов, строительства авиационных баз и т.д.) Зная, что за противником остается последний ход, как нам следует поступить? Мы, конечно, не сможем выбрать свой «любимый» результат, т.е. лучший случай для нас (в первом верхнем углу таблицы), а именно случай нападения *A,* направленного против обороны C^1. Это был бы блестящий выбор, если бы противник уже связал себя выбором обороны C^1. Но он не сделал этого, он выжидает, чтобы увидеть, что мы делаем. И если мы изберем нападение *A,* он может воспользоваться преимуществом второго хода путем выступления против нас с обороной A^1, которая приводит нас к худшему из всех девяти возможных результатов. Если мы изберем нападение *B,* противник может нас привести к седьмому по выгодности результату, избрав оборону B^1. Если мы изберем нападение. С, он может выбрать оборону C^1, и мы получим восьмой по выгодности результат. Если противник здравомыслящий то именно такой будет его реакция на наш выбор нападения *A*, *B* или *C.* Таким образом, мы знаем заранее, что получим соответственно девятый, седьмой или восьмой результат в нашем ряду выгодности, если изберем нападение *A*, *B* или С. Лучшее, чего мы сможем добиться, это седьмое место, поэтому мы выбираем стратегию нападения *B.* Мы поступили не очень удачно, но, по крайней мере, сделали разумный выбор перед преимущественным положением противника, заключающемся в том, что за ним второй ход.

Если бы мы имели преимущество второго хода, т.е. если бы противнику потребовалось больше времени на подготовку вооружения и организацию обороны, то ему пришлось бы делать свой первый ход так же, как только что мы делали свой.

Если мы увидим, что противник избирает стратегию A^1, то мы можем выбрать стратегию *C* и получить третий по выгодности результат. Если он избирает стратегию B^1 или C^1, то мы можем выбрать стратегию *A* и получить второй или первый по выгодности для нас результат. Зная, что мы можем сделать это, противник вынужден избрать стратегию A^1. В этом случае у нас дело об-

стоит значительно лучше, чем когда нам приходилось делать первый ход. (Классическим примером результата этого типа игры и контригры в области игр, связанных с разработкой оружия, явился прогресс в вооружении, броне и скорости «дредноутов», достигнутый в период с начала этого века до второй мировой войны.)

Следует обратить внимание на то, что здесь играет важную роль *разведывательная информация.* Если противнику приходится делать ход первому, размещать свои авиационные базы и производить определенные типы перехватчиков в течение такого времени, которое позволяет нам выбрать свою лучшую систему доставки бомб, исходя из выбора, уже сделанного противником, то преимущество второго хода мы получаем только в том случае, если сможем установить, какой выбор сделал противник. Отсутствие разведывательных данных может свести на нет преимущества, связанные с упреждением во времени.

Таким образом, время и разведывательная информация являются двумя факторами, влияющими на зависимость поведения противника от нашего поведения. В связи с этими двумя факторами рассматриваемую проблему можно разделить на несколько меньших субпроблем. В нашем примере проблемы выбор стратегии *A* заставляет нас уже теперь брать на себя твердое обязательство в отношении баз, которые мы создаем, и самолетов, которые мы должны выпускать, в то время как при выборе стратегий *B* или C мы можем оставить открытым до более позднего времени вопрос о том, какая именно будет у нас стратегия: *B* или *C.* Когда стратегии B и C отличаются в основном маршрутами нападения и не очень отличаются в отношении расположения баз или типов используемых самолетов, то нам, возможно, удастся заставить противника заниматься угадыванием наших намерений вплоть до момента, когда ему необходимо будет делать выбор в том случае, если в момент принятия нами решения, связанного с установлением упреждения во времени, мы сохраним возможность выбора между стратегиями *B* или C вместо выбора стратегии *A*.

Выбор в пользу большей гибкости. Ради обладания дополнительной гибкостью в выборе стратегии, может быть, стоит пойти на некоторые дополнительные издержки. Предположим, что со стратегиями *B* и C связано некоторое различие в отношении количества заправщиков к количеству бомбардировщиков или в мишенях-ловушках, которые запускаются при нападении. Со стратегией *B* связана большая длина ломаного маршрута и большее количество заправщиков. Стратегия *C* может потребовать большего количества запускаемых с земли электронных ловушек как компенсацию большего времени прорыва. Благодаря преимуществу свободного выбора в последний момент между стратегиями *B* и C и возможности заставить противника угадывать или первому принимать решение, может быть, мудро потратить некоторое дополнительное количество денег (даже за счет средств, ассигнованных на приобретение бомбардировщиков),.чтобы иметь как заправщики, необходимые для нападения *B,* так и ловушки, необходимые для нападения *C,* даже если что-то из этого в конечном счете окажется лишним или не будет иметь большого значения при том виде нападения, который в конце концов мы изберем.

Противник, возможно, также заставит нас угадывать. Может быть, у нас данные разведки в отношении типов вооружения, которым он обладает, будут лучше, чем данные в отношении расположения его авиационных оборонительных баз. В этом случае мы могли бы определить заранее, соответствует ли его вооружение и оборудование обороне A^1 или типу обороны, требуемому при стратегиях B^1 и C^1. В последнем случае, чтобы установить, какую в действительности он избрал оборону, B^1 или C^1, нам придется узнать что-нибудь о расположении его авиационных оборонительных баз. Если у нас нет такой информации, нам, возможно, придется остановиться на решении проблемы выбора, которая характеризуется неопределенностью в данных у нашей стороны в отношении выбора противником между стратегиями B^1 и C^1 и неопределенностью данных со стороны противника в отношении выбора нами между стратегиями B и C. В этом случае

возможны четыре результата, которые приведены в нижнем правом углу табл. 10.2.

Противник может также строить базы, удовлетворяющие стратегиям B^1 и C^1, но при этом будет вынужден распределять свои самолеты-перехватчики так, чтобы они были или сосредоточенными для противодействия нашему нападению *C* или рассредоточенными для противодействия нашему нападению *B.* Если противник не знает, как мы собираемся напасть, он не знает, как распределить свои самолеты. Если он думает, что мы знаем, как размещена его авиация, так что мы можем избрать соответственно стратегию *B* или C, он может предпочесть поочередный переход от рассредоточения к сосредоточению самолетов, чтобы у нас не было возможности угадать, с какой стратегией противника, B^1 или C^1, мы встретимся при нападении на него. Если эта поочередная смена происходит так, что приблизительно половину времени противник придерживается положения B^1 и половину времени положения C^1, то в этом случае мы сталкиваемся с некоторой статистической неопределенностью. Если мы изберем стратегию *B,* у нас будет равное количество шансов получить пятый или восьмой результат по выгодности для нас. Если мы изберем стратегию *C,* у нас будет равное количество шансов получить шестой или седьмой результат. Что же нам следует предпочесть?

Данные, необходимые для рассмотрения вероятностей. Остановимся на этом и снова сформулируем проблему. Предположим, что мы знали о том, что у нас было равное количество шансов установить, какая стратегия нас ожидает, B^1 или C^1. В этом случае нет необходимости пытаться угадывать действия противника или пробовать избежать того, чтобы угадали наши действия, ибо нам известен характер поведения противника. Дело обстоит так, будто метеоролог сказал, что имеется 50%-ная вероятность холодной погоды, и нам приходится решать вопрос, брать или не брать с собой пальто. Достаточно ли для нас информации в табл. 10.2, чтобы решить эту проблему?

Теперь мы имеем дело с четырьмя возможными результатами, из которых самым лучшим для нас является сочетание стратегий C — B^1, затем сочетание стратегий B — C^1, третьим будет сочетание стратегий B — B^1 и четвертым — сочетание стратегий C — C^1. Для большей ясности посмотрим на табл. 10.3, в которой эти четыре результата расположены с указанием порядка выгодности их для нас.

10.3 — Выгодность четырех возможных результатов

Нападение	Оборона	
	B^1	C^1
B	3	2
C	1	4

Разрешима ли поставленная проблема? Ответ на этот вопрос отрицательный, так как мы еще недостаточно поработали над обеспечением нашей таблицы необходимой информацией, и мы не можем делать разумную ставку, если не узнаем лучше, что мы получим от заключаемого пари. Таблица показывает только *относительные* оценки результатов, т.е. порядок выгодности этих результатов для нас, но, чтобы идти на риск преднамеренно или заключать разумное пари, нам необходимо принимать во внимание *абсолютную величину,* характеризующую выгодность результата для нас.

Недостаточно знать, что одни результаты лучше других, надо учитывать, насколько они лучше. Если бы таблица учитывала не количество уничтоженных целей, а выигрыш в деньгах, мы почувствовали бы себя совсем по-другому в отношении двух типов распределения выигрышей, приводимых в табл. 10.4, которая составлена исходя из равных возможностей появления стратегий B^1 или C^1. Стратегия *C* выглядит хорошей по распределению I, а стратегия *B* -по распределению II; но оба этих распределения содержат идентичное вознаграждение в денежном выраже-

нии, когда мы выражаем его как первое, второе, третье и четвертое в зависимости от размера вознаграждения, как указано в табл. 10.3.

Таблица 10.4 — Сравнение абсолютных величин четырех возможных результатов на двух примерах

Нападение	Оборона			
	Распределение I		Распределение II	
	B^1	C	B^1	C
B	3	5	7	9
C	10	2	10	2

Теперь применим эту идею к табл. 10.4. Вспомним, что сначала мы начали только с указания в каждой колонке лучшего, среднего и худшего результатов. Это оказалось недостаточным для решения некоторых проблем, и мы заменили сравнение по трем показателям сравнением по девяти показателям, сопоставляя результаты во всех девяти случаях и выражая их в зависимости от нанесенного ущерба противнику. Теперь мы пришли к заключению о том, что нам необходима числовая шкала некоторого вида, которая будет показывать не только, какой результат лучше какого другого, но и *насколько лучше.* Как мы можем получить такую числовую меру?

Мы могли бы для этого взять просто некоторую величину нанесенного ущерба, например процент уничтоженных целей. Возможно, это было бы неплохим выходом как первое грубое приближение. Но, вероятно, оно не будет очень хорошим приближением. Например, ответ на вопрос, какую ценность имеет уничтожение еще 10% целей, может зависеть от того, рассчитывали мы уже на уничтожение 90, 50 или 20% целей. Например, может быть так, что разница между 60 и 70% уничтоженных целей является значительной, если исходить из возможностей противника использовать то, что у него осталось, в то время как разница между 90 и 100% уничтоженных целей имеет такое же примерно значение, как стрельба по мертвой лошади.

Далее, наше понимание относительных достоинств различных результатов, вероятно, будет отражать не одну сторону результата. Возможно, нам придется сравнивать преимущества, получаемые в результате уничтожения большего количества целей при больших наших затратах, выражаемых в потерянных самолетах, и так как эти данные, по-видимому, не будут изменяться одинаково, когда мы станем переходить от одного решения к другому, нам необходимо найти некоторый способ сопоставления нескольких различных сторон результата.

Отнюдь не предполагая, что это легко сделать, а лишь настаивая на необходимости этого, продолжим рассмотрение нашей проблемы путем дополнения таблицы некоторыми числами. Нам необходимо при этом выбрать шкалу измерения. Примем произвольно, что величина 100 соответствует самому предпочтительному для нас результату при выборе между девятью результатами, а величина 0 — самому невыгодному из них. Теперь попытаемся дать числовые значения для других результатов, которые некоторым образом выражают степень различия между ними при их оценке. Я подставил некоторые числа в табл. 10.5, которые являются совершенно произвольными, хотя и обладают тем достоинством, что соответствуют нашим оценкам результатов, указанным выше. Наш лучший возможный результат, а именно случай стратегии A против стратегии C^1, выражен величиной 100; худший возможный результат, когда стратегия A выступает против стратегии Λ', обозначен 0, и величины в других семи случаях расположены в том же поряд-

ке, как и числа в табл. 10.2.

Таблица 10.5 — Числовая оценка результатов

Нападение	Оборона		
	A^1	B^1	C^1
A	0	80	100
B	60	40	50
C	70	55	30

Должен заметить, что этим я одновременно делаю таблицу более сложной и более легкой для работы. Она легче, когда речь идет о проблемах принятия решения. Предполагая все больше и больше исследований относительно достоинств этих различных результатов, я считаю, что у нас будет все больше и больше данных для рассмотрения. И чем больше данных будет в таблице, тем быстрее поддается решению наша проблема. В то же время становится все труднее и труднее рассматривать эту проблему в рамках одной главы. Теперь, вероятно, мы использовали почти все возможности для рассмотрения проблемы, которые позволяют сделать краткий обзор. Однако должен подчеркнуть, что это не означает, что наша проблема стала безнадежно сложной с точки зрения ее решения. Если бы мы действительно были заняты исследованием, то вместо попытки описать и проиллюстрировать этот вид исследования мы могли бы заниматься ею часами, днями, неделями до тех пор, пока бы не пришли к мнению о том, что она достаточно хорошо проработана.

С этими новыми цифрами мы можем сделать больше, чем могли до этого. Рассмотрим снова проблему, которую противник выдвинет перед нами, если он будет перемещать свои самолеты между положениями B^1 и C^1. Предположим, что ранее нам пришлось сделать выбор между стратегией *A,* с одной стороны, и стратегиями B и C, с другой стороны, и избрать двоякую возможность выбора стратегии *B* или *C, а* теперь мы должны решить, какую из этих двух возможностей избрать. Если изберем стратегию *B,* у нас будут равные возможности на получение результата, характеризуемого числом 40 или 50; если мы изберем стратегию C, мы будем иметь равные шансы на получение результата 30 или 55. Стратегия *B* выглядит несколько лучше, и если бы это было пари на деньги, мы почти определенно избрали бы ее. Хотя это не денежное пари, мы, по меньшей мере, уже сделали попытку учесть всякие непропорциональные различия среди разных результатов, так что цифры приблизительно указывают нам «ценность» результатов. Предполагаем, что разница между двумя результатами, например между случаем стратегий B — B^1 *и* случаем стратегий B — C^1, должна указывать меру важности этой разницы для нас. Поэтому, хотя мы, возможно, не совсем готовы утверждать, что будем смотреть на эти цифры как игрок, вкладчик капиталов или как страховая компания, высчитывающие предполагаемые прибыли по известным шансам, взгляд на рассматриваемую проблему с этой стороны, по меньшей мере, не совсем бессмыслен. И этого вывода мы достигли благодаря лишь введению обозначений первой, второй, третьей и четвертой степеней предпочтительности результата для нас. Теперь мы, по крайней мере, попытались взять величины в такой форме, которая позволяет нам использовать их числовые значения.

Заметим в этом случае, что противник, если он чередует пребывание своих самолетов половину времени в положении B^1 и половину времени в положении C^1, может угадать, что будем делать мы. Мы, вероятно, изберем стратегию *B.* Зная это, он, возможно, захочет избрать стратегию B^1. Причина, по которой противнику нельзя делать этого, заключается в том, что, если он изберет стратегию B^1 и будет оставаться в этом положении, мы изберем стратегию C. Противнику приходится продолжать переходить от одного положения к другому, чтобы не дать возможности приспособиться в нему.

Пересмотр стратегий. С помощью этих цифр мы можем теперь сказать еще об одной важной воз-

можности. Смешение двух стратегий, например B^1 и C^1, возможно не только при случайном их чередовании, но и в физическом плане при выработке компромиссной стратегии. Противник вместо попеременного перехода от концентрации своих самолетов к их рассредоточению мог бы держать их постоянно в некотором компромиссном положении, а именно в более рассредоточенном положении, чем это предусмотрено для отражения нападения С, и в более сосредоточенном положении по сравнению с положением при нападении типа *B.* Данное оборонительное расположение не было бы таким хорошим против нападения *B,* как оборона типа B^1, и не было бы таким хорошим против нападения *C,* как оборона типа C^1, но оно, в порядке компенсации, могло бы принести противнику преимущество в том, что он оказался бы не совсем в плохом положении, если бы мы выступили с определенным типом нападения, к которому он не был бы подготовлен. К тому же это избавляет его от необходимости в попеременном чередовании в системе полностью дублирующих баз.

Подобным образом *мы* могли бы разработать компромиссную стратегию нападения, которая была бы некоторым компромиссом между стратегиями В и С. При таком нападении меньше возможностей использовать ошибку противника, если он изберет неправильную оборону, но это нападение лучше, чем нападение *B* или *C*, если противник будет ждать нападения, избрав правильную оборону. Возникает вопрос, выигрываем ли мы столько, сколько потеряли? Соображение, которое я хотел бы изложить, заключается в том, что в табл. 10.5 цифры теперь имеют тот вид, который необходим для ответа на поставленный вопрос. Добавим к ней компромиссную стратегию и обозначим BC.

Предположим, что мы ее оцениваем так же, как оценивали другие стратегии, и найдем, что она приводит к результатам, которые показаны в третьей строчке табл. 10.6. Эта стратегия выглядит довольно хорошо. В случае обороны типа B^1 она так же хороша, как нападение типа *C*; в случае обороны C^1 она так же хороша, как нападение *B*. И по скромному подсчету она *в самом худшем случае* дает результат гораздо лучший, чем при нападении С в худшем его случае, и заметно лучше, чем нападение *B* при самом худшем его результате.

Таблица 10.6 — Числовые значения результатов при компромиссной стратегии

Нападение	Оборона	
	B^1	C^1
B	40	50
C	55	30
BC	50	45
(BC)	(45)	(35)

С другой стороны, если бы эту стратегию оценить, как показано в скобках, то значения, вероятно, помогли бы нам ее отвергнуть, так как в последнем случае она только чуть лучше стратегии *B* (где стратегия *B* является неправильной) и значительно хуже в том случае, когда противник изберет оборону типа C^1.

Предварительные выводы. Добавим еще некоторые цифры в таблице. Но прежде чем сделать это, давайте отвлечемся на мгновение, отойдем в сторону от цифр и посмотрим, можно ли нам сделать какие-нибудь выводы. Мы начали рассмотрение с положения о том, что во многих важных случаях фактически нельзя оценить свой собственный выбор и свои решения, если не сделать предположений о действиях противника. Но основа поведения противника, если мы готовы наделить его каким-либо умом, заключается в том, чтобы приспособиться к нашим действиям, используя наши слабости так же, как мы пытаемся использовать его слабости. Всякий раз, когда нам приходится принимать решение первыми, противник будет делать все возможное, чтобы определить избранную нами стратегию. Для сведения к минимуму возможностей приспособления его стратегии к нашей, мы пытаемся разработать системы оружия, которые хороши в различ-

ных условиях, даже если они, может быть, не будут такими хорошими в лучшем из возможных случаев, какой бы была более специализированная, но менее универсальная система. Мы можем попытаться затруднить противнику возможность приспособления, оставляя его в неведении о нашей стратегии и вынуждая его разрабатывать универсальные системы вместо специализированных, а также откладывать принятие решений, когда это возможно, заставлять его принимать решение, не зная о наших решениях, или, что еще лучше для нас, избирать такую тактику поведения, чтобы иметь время на размышление о том, как сделать свой окончательный выбор.

Принуждение противника к приспособлению. Имеется еще и другой путь подхода к проблеме приспособления противника. В тех случаях, когда нам приходится делать выбор первыми и мы должны предполагать, что противник разумно выберет в качестве ответа на наш выбор системы такую систему, которая использует наши слабости, нам нет необходимости думать о его приспособлении, как о действии, сводящем к нулю наши действия. Мы можем думать о его приспособлении как о *цели* наших действий. Для иллюстрации этого соображения предположим, что мы строим линию дальнего радиолокационного обнаружения на севере и дополняем ее другими мерами предупреждения на юге.

Существует три способа оценки того, что представляет собой система обнаружения. Оптимист будет говорить, что, так как противник нападает большими силами бомбардировщиков, мы увидим его за несколько часов до того, как он достигнет нас, и конечно, предпримем меры, чтобы нанести массированный удар. Мы даже успеем предупредить наши оборонительные средства, чтобы они встретили бомбардировщики противника, когда те появятся. Пессимист будет утверждать, что противник перестроит свое нападение так, чтобы оно основывалось на гораздо меньшем количестве самолетов, которые могут проскользнуть через самые слабые места нашей сети обнаружения; линия дальнего радиолокационного обнаружения никогда не обнаружит их при приближении к нам, потому что противник или не полетит над этой линией, или, если полетит, сделает это при таком количестве самолетов и режиме полета, которые дадут слабую вероятность их распознавания. Средним между этими точками зрения является умеренный взгляд, допускающий приспособление противника и строящий свой анализ систем на этом.

Согласно этому взгляду цель линии дальнего радиолокационного обнаружения заключается не обязательно в том, чтобы засечь нападение противника, когда оно произойдет, а в том, чтобы причинить противнику трудности, вынудить его пойти на дополнительные расходы и принять на себя риск, связанный с разработкой такого типа нападения, которое не будет обнаружено линией дальнего радиолокационного обнаружения. Эта линия не оставляет лазейки для противника и заставляет его перейти к другой, менее хорошей стратегии. Согласно такому виду оценки линия дальнего радиолокационного обнаружения может быть хорошим вкладом средств и может быть нехорошим, но такая оценка фактически подразумевает, что стоимость конкретной системы обнаружения не определяется ответом на вопрос, предупредит ли она когда-либо о нападении противника. Вместо этого следует интересоваться тем, *чего стоит противнику* наш отказ ему в возможности осуществления массированного внезапного нападения через арктические районы и чему равны *наши затраты,* необходимые для постройки системы обнаружения.

Таким же образом мы могли бы рассмотреть вопрос о рассредоточении наших наступательных сил на базах. Здесь также уместен вопрос о том, насколько трудным и дорогостоящим делом для противника с точки зрения отвлечения военных ресурсов является подготовка к отражению такого нападения. Если при малых затратах мы можем заставить его пойти на дорогостоящее отвлечение ресурсов ПВО, это может выглядеть как хорошая идея. Но если при больших затратах мы заставляем его отвлекать небольшое количество ресурсов, то эта идея будет со-

всем не так хороша.

Иначе говоря, если исходить из того, что противник будет приспосабливаться к принимаемым нами решениям там, где ему наша программа действий и его разведывательная информация позволяют это сделать, то мы должны будем оценивать предлагаемые решения с учетом *приспособительных мер,* которые противник вынужден будет предпринять в связи с этими решениями. А это означает необходимость рассмотрения относительных затрат, которые ему приходится производить по сравнению с ними.

Это положение можно проиллюстрировать табл. 10.6. Предположим, что мы уже остановились на стратегии *C* и противник готов противостоять нам обороной C^1. Выдвигается предложение приобрести больше заправщиков, чтобы мы могли осуществить нападение типа *B.* По оптимистическому взгляду, приписывающему противнику глупость, мы сможем улучшить наш результат на 20 единиц. По пессимистическому взгляду, исходящему из того, что противник перестроит свою оборону против нас, мы выиграем только 10 единиц по нашей шкале оценок. Однако исследователь должен попытаться подсчитать, во что обойдется противнику отвлечение ресурсов, если он будет приспосабливаться к нашей стратегии, как это отразится на всей его обороне и в каком мы будем положении в результате всего этого.

Исследователь возьмет более скромное приращение того выигрыша, который мы получим при переходе от нападения *C* против обороны C^1 к нападению *B* против обороны B^1. В частности, приводимая нами таблица позволяет сделать вывод, что это неплохая идея. Она может означать, что или приспособление противника неполное или что он полностью приспосабливается к более широкому рассредоточению наших сил, но за счет уменьшения количества и ухудшения качества своего собственного оружия, так что общий баланс будет в нашу пользу и результат для нас лучше.

10.3. Более широкое истолкование. Всесторонняя стратегия

Рассмотрим в более широком плане пример проблемы выбора среди альтернативных систем оружия. До сих пор я рассматривал эту проблему, как если бы она относилась скорее к выбору образа действий в тактическом плане, а не к всесторонней стратегии. Я не учитывал по меньшей мере две важные стороны. Одна имеет отношение к потерям, отличаемым от непосредственного военного ущерба, а другая связана с возможностью того, что наш выбор среди стратегий ведения войны может повлиять на *вероятность* самой войны.

Возможно, не сразу становится очевидным, что я по необходимости не учитывал потери. Табл. 10.6 содержит цифры, которые, как предполагается, представляют собой в количественном плане нашу оценку различных возможных вариантов. Мы немного говорили о том, что может скрываться за этими цифрами, например об ущербе, нанесенном объектам противника, наших потерях в самолетах и личном составе и подобных факторах. Мы могли бы для большей наглядности примера просто дать нашим цифрам более совершенную интерпретацию и заявить, что мы учли в целом потери гражданского населения и потери в промышленности, экономический ущерб, потерю политического престижа и другие факторы. Но это потребовало бы проведения большего количества исследований, большего количества статистических данных, более глубокого изучения психологии и большей аргументации в отношении неучтенных положений. Потратив необходимое количество времени и изобретательности, мы должны сделать более всестороннюю оценку относительных достоинств различных результатов. Мы, без сомнения, будем получать различные цифры в зависимости от того, что принимается во внимание, но тем не ме-

нее в конечном итоге получим таблицу в такой общей форме, которая нам нужна.

Причина, по которой мы не можем просто переистолковать наши цифры в рамках этой дискуссии так, чтобы они включали потери, заключается в следующем: до настоящего момента мы предполагали, что то, что лучше для нас, хуже для противника и наоборот. Мы исходили из того, что нам хочется нанести ущерб его объектам, а он этому противодействует, т.е. у нас были диаметрально противоположные желания в отношении нанесения ущерба. (*Или*, если мы будем истолковывать наши цифры как означающие шансы на «выигрыш» войны, любая пара стратегий нападения и обороны, которая дает нам относительно высокие шансы на выигрыш войны, оставляет противнику относительно мало шансов и наоборот.) Но когда дело доходит до учета потерь, то уже будет неправильным положение о том, что различным возможным результатам мы и противник даем диаметрально противоположные оценки. Так, из двух стратегий наступления и обороны, которые дают в три раза больше шансов на выигрыш при умеренных потерях с обеих сторон, и других двух стратегий, которые дают нам также в три раза больше шансов на выигрыш, но при гораздо больших потерях с обеих сторон, мы и противник, возможно, предпочтем один и тот же вариант из этих двух результатов. К тому же, помимо проблем гражданских потерь и экономического ущерба, имеется ряд внутриполитических вопросов, которые противник может оценивать совсем не так, как оценили бы их мы. По этим причинам при оценке всех последствий различных типов нападения и обороны, в отличие от их немедленных военных последствий, мы, вероятно, *не* сможем установить *единый* ряд чисел, который мог бы послужить одновременно в качестве показателя *нашей* оценки и оценки *противником.* Нам понадобятся *два ряда чисел* для представления наших двух различных оценок этих последствий.

Если мне удалось разъяснить, что это справедливо в принципе, то остается задать вопрос, влияет ли па наше решение оценка противником таких вопросов, как гражданские, экономические и политические потери. Ответ на этот вопрос должен быть утвердительным.

Пересмотренный пример «плохой» стратегии. Чтобы показать это на экстремальном случае и избежать увеличения размеров нашей таблицы, изменим характер нашего нападения *С* и заменим цифры в табл. 10.6. Оставив пока в стороне вопрос о характере нападения С предположим, что наша всесторонняя оценка результата показана в табл. 10.7. Какие выводы мы можем сделать по выбору между стратегиями *А, В* и С?

Таблица 10.7 — Количественные оценки «плохой» стратегии

Нападение	Оборона		
	A^1	B^1	C^1
А	0	80	100
В	60	40	50
С	- 20	10	25

Первый анализ, без сомнения, заставил бы нас совсем отбросить нападение типа С. Независимо от того, какой тип обороны применяет противник (A^1, B^1 или C^1), наше нападение С неизменно будет хуже для нас, чем нападение *А* или *В,* Не может быть такого случая, когда бы мы не предпочли нападение типа *В* нападению типа С, и не будет случая, когда бы мы не предпочли нападение типа *А* нападению типа *С.* Мы не можем с выгодой для себя обманывать противника путем использования нападения типа *С,* полагая, что он будет рассчитывать на наш отказ от этой выгоды. Мы поступаем настолько плохо, что он будет восхищен нашим выбором нападения типа *С,* даже если ожидал нападения типа *Л* или *В.*

Оценка результатов противником. Для наглядности преобразуем табл. 10.7, введя некоторые циф-

ры, которые могут представлять собой нашу оценку оценки противником этих девяти возможных результатов. В табл. 10.8 помещены цифры, характеризующие нашу оценку, и цифры, характеризующие оценку противника (т.е. значение оценки, которую по нашим предположениям дает противник), в каждой из девяти клеток таблицы; наши цифры — слева внизу, цифры противника — справа вверху.

Таблица 10.8 — Цифровые оценки — предполагаемые оценки противника

Нападение	Оборона					
	A^1		B^1		C^1	
A	0		80	20		50
B	60	20	40	40	50	30
C	-20	0	10	10	25	0

Будем грубо различать два типа факторов в оценке противника: во-первых, оценку противником шансов на выигрыш или проигрыш в войне или его оценку соотношения сил между нами сразу после окончания войны (в этих вопросах оценка противником должна быть прямо противоположной нашей); во-вторых, различные факторы, отнесенные мной к широкому термину «потери», при рассмотрении которых нет твердого основания предполагать, что тип войны, который противнику нравится меньше всего, является таким типом войны, который нравится больше всего нам, и наоборот.

Чтобы сделать нашу иллюстрацию более конкретной, рассмотрим следующий пример. Если мы предположим, что оценка противником результата столкновения нападения A с обороной B^1 составляет 20 единиц по нашей шкале, т.е. сравнительно малую величину, то это отражает тот факт, что наша оценка характеризуется относительно большой величиной. Рассматривая случай противопоставления нападению A обороны C^1, мы видим, что не обязательно верным будет утверждение о том, что когда возрастает величина нашей оценки, то величина оценки противником становится меньше. Поэтому нет логической несообразности в том, чтобы выразить оценку противником этого случая величиной, равной 50 единицам. Грубо говоря, результаты столкновения стратегии A против стратегии B^1 и A против C^1 могут быть примерно одинаковыми в отношении того, кто выиграет войну, но один результат может быть достигнут гораздо большей кровью с обеих сторон, чем другой, так что разница в оценках будет иметь одно направление как для противника, так и для нас.

Нам нет необходимости придавать слишком большое значение цифрам в табл. 10.8, поскольку я хотел только проиллюстрировать ими довольно простую мысль — не обязательно предполагать отсутствие логической совместимости возможных значений оценок противника с нашими. Рассмотрим случай, когда мы избрали нападение С. Это случай такой стратегии, которую мы могли бы отвергнуть, исходя из цифр, представляющих собой оценку результатов американцами. Но величины, которые я внес в качестве возможной оценки противника, может быть, дадут нам основание сохранять стратегию типа С в действии.

Согласно этим цифрам противнику не выгоден результат, когда нападение C используется примерно так, как используем его мы. Нападение С, кажется, является кровавым нападением такого типа, который обычно именуется как «взаимное самоубийство». Мы также не можем его принять из-за последствий, которые оно принесет нашей стране. Нам не может доставить особого удовольствия и то, что противник при этом тоже придет в отчаяние. Поэтому, если бы мы были уверены в том, что, приняв эту стратегию, мы будем вести соответствующие боевые действия

(или если бы мы считали, что вероятность начала войны не зависит от выбора нашей стратегии нападения), то мы отказались бы от нападения типа С. Но если мы заинтересованы в сдерживании противника, а также в достижении победы в любой из возможных видов войны, нападение типа С может иметь некоторую притягательную силу. Если наша задача заключается в том, чтобы противопоставить противнику нападение, возможности которого он стремится избежать, то нападение С имеет определенные достоинства по сравнению с нападением *А* и *В.*

Пересмотр вопросов секретности и гибкости. В отношении принятия стратегии, подобной стратегии нападения типа *С,* можно сделать некоторые интересные замечания. Выше мы одобряли секретность, так как нам казалось выгодным держать противника в неопределенности в отношении того, к какому нашему нападению он должен быть подготовлен. Но такая чисто сдерживающая стратегия, как стратегия С, имела бы смысл только в том случае, когда она широко объявляется противнику. Мы также в начале нашего анализа придавали большое значение гибкости, заключающейся в свободе сделать окончательный выбор в последний момент, опять же для того, чтобы заставить противника гадать об этом или приспособиться к стратегии, которую к тому времени мы могли бы принять. Но нападение типа С весьма неубедительный вид устрашения, если мы обладаем гибкостью для перехода к стратегиям *А* или *В* в последний момент. В тот момент, когда начнется война, наша заинтересованность в проведении стратегии *С* будет не больше, чем заинтересованность противника в обороне против ударов, наносимых в соответствии с этой стратегией, и противник знает нашу заинтересованность в переходе к стратегии *А* и *В,* если это физически возможно. Единственное средство, которое могло бы его полностью убедить в неотвратимости нападения типа С, заключается в убеждении его в том, что мы не можем избрать ничего другого, помимо нападения С, даже если бы мы хотели избрать другое.

Существенное изменение здесь заключается в следующем. Ранее мы старались приспособиться к тому, что мы и наш противник имеем противоположные интересы; в ситуации, представляемой стратегией *С,* мы пытаемся придать такую форму побуждениям противника, чтобы у нас с ним был общий интерес, а именно общий интерес к выбору еще одной стратегии — стратегии поведения такого рода, которая сделает войну ненужной! Мы теперь стараемся обращаться умело с его побуждениями, а не просто приспосабливаться к ним. Мы пытаемся предоставить ему выбор, в котором мы заинтересованы, таким образом, чтобы убедить его в том, что он является для него самым лучшим выбором.

Стратегия, которая выглядит «слишком хорошей». Если взять другую крайность, то мы могли бы выдвинуть новую стратегию или новые числовые значения для нашей все еще неопределенной стратегии типа *С,* которые позволят ей выглядеть очень хорошо по сравнению со стратегиями *А* и *В* на основании нашей собственной числовой оценки. Она могла бы выглядеть слишком хорошо. Для простоты и гипотетичности примера я не рассматривал вопрос о том, кто первым нанесет удар в войне. Но если мы сделаем нашу таблицу достаточно большой и сложной, то сможем поставить каждую из обеих сторон в положение нападающей и обороняющейся стороны одновременно и предоставить право выбора между первым и ответным ударом. Мы могли бы в этом случае найти стратегию, которая выглядела бы очень хорошей, если бы мы наносили ответный удар, и даже еще лучшей, если бы мы наносили удар первыми. Но если *на самом деле* мы *не* намереваемся нанести удар первыми, то, возможно, сама эффективность такой стратегии как трамплина для нанесения удара первыми представит серьезную трудность. Может быть, такая стратегия выглядит слишком хорошей для нас. Или, точнее говоря, она покажется противнику слишком хорошей для нас, и если возможность при нашей стратегии нанести удар вторыми является потенциальной сдерживающей силой, то возможность при этой стратегии нанести удар

первыми может вызвать у противника стремление упредить нас.

Я демонстрирую эту возможность не для того, чтобы рассмотреть ее в деталях, а для того, чтобы показать, как глубоко могут лежать связи между некоторыми трудно уловимыми величинами, учитываемыми в анализе. Нам не только приходится оценивать результаты действий с наших позиций, но и определять, как противник оценил бы эти результаты со своей точки зрения. В этом последнем случае мы вынуждены строить предположения о том, как противник может оценивать нашу оценку различных исходов событий. Если бы мы могли путем нанесения удара первыми уничтожить мощь противника ценой миллионов американских жизней, то нам важно понимать мнение противника о нашей решимости принести в жертву эти жизни.

10.4. Заключение

В заключение я хотел бы остановиться на двух моментах. Во-первых, единственные разумные предположения о поведении противника при рассмотрении проблем, где его интересы строго противоположны нашим интересам, состоят в том, что противник будет приспосабливать свое поведение к нашему в пределах имеющихся у него возможностей. Зная о принимаемых нами решениях, он будет проектировать свою систему так, чтобы она обеспечивала ему гибкость и возможность поставить нас перед неопределенностью, и он будет предполагать, что мы делаем то же самое.

Второй вывод состоит в том, что в таких вопросах, как сдерживание, ограниченная война, уклонение от ненамеренной войны, провокация первого удара и так далее, хотя мы и предполагаем, что противник будет приспосабливаться к нашим решениям, мы должны создать систему, которая вынудит его действовать так, как нам хотелось.

Я хочу сделать одно замечание. В обоих случаях в каком-то смысле мы придерживаемся взгляда, который противоположен обычному мнению о том, что решения следует основывать не на намерениях противника, а на его возможностях. В рассмотренных проблемах мы по необходимости имели дело с намерениями противника, его ожиданиями, его побуждениями и его догадками о наших намерениях, наших ожиданиях и наших побуждениях. Это, очевидно, справедливо при рассмотрении таких идей, как сдерживание, весь смысл которого заключается в том, чтобы умело обращаться с намерениями противника, предлагая ему выбор из надлежащим образом подготовленного ряда возможностей. Но это также справедливо и для тех ситуаций, в которых мы не пытаемся сдерживать, принуждать или убеждать противника, а просто пытаемся отгадать его намерения и препятствуем ему угадать наши. В этих случаях мы не можем рассматривать его возможности.

Его возможности действий против различных систем, которые мы можем выбрать, зависят от того, как он распределяет свои ресурсы среди альтернативных систем, имеющихся у него, что, в свою очередь, зависит от того, каких действий он ожидает от нас. Распределение его возможностей, которые нам следует ожидать, не есть что-то, что мы вводим на начальном этапе нашего анализа. Это получаемый нами итог. После того как мы одновременно рассмотрели проблемы противника и нашу и провели тот вид анализа, который, как предполагается, он должен провести со своей стороны, мы можем надеяться получить суждение о нашем самом разумном выборе, который должны сделать мы, и самом разумном выборе противника.

Вот почему так много оценок, необходимых нам для решения этих проблем, связано с тонкими и трудноуловимыми соображениями. Сам характер проблемы способствует возникновению таких тонкостей. Из этих тонкостей самой важной будет представление противника о нашем мнении

о нем.

11. МЕТОДЫ ТЕОРИИ ИГР И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

М. Вейнер

11.1. Использование военных игр

Военные игры издавна считались в военном деле важным средством воспитания и обучения. Их история восходит к тем древним временам, когда китайский генерал Сун Дзу[40] пытался разбирать военные операции, нанося на карту расположение собственных сил и сил противника или размечая их на песке или планшете и анализируя различные ходы или действия, которые могут быть предприняты каждой стороной. Он, в сущности, строил модель боевой обстановки, рассматривая свои возможные ходы и ходы противника, он искал решения, наиболее эффективные в любых условиях противодействия противника.

Сохранилась ли эта методика изучения действий и противодействий благодаря тому, что наш генерал нашел, будто она способствовала его успеху, или потому, что она была полезным средством анализа сложных ситуаций, или просто потому, что она позволяла приятно провести время, не имеет большого значения. Важно одно: она сохранилась и со временем претерпела много изменений и сильно развилась.

В настоящее время военные игры используются во многих случаях. Приведем четыре основных типа использования военных игр[41]

1. Игры как средство обучения или эвристическое средство. Сюда входят все случаи использования игр, когда предполагается, что имитация обстановки позволит в большей степени осознать множество факторов и действий, которые связаны с этой обстановкой, и разовьет понимание этих факторов и действий в любом отражении этой обстановки в реальном мире.

2. Игры как средство самообразования. В этом случае создается ситуация, служащая сосредоточением опыта и суждений военного профессионала и специалиста по анализу систем. При анализе конкретных ситуаций соответствующие факторы рассматриваются в определенном контексте, и многие факторы и взаимосвязи, которыми, возможно, мы бы пренебрегли или упустили, выявляются и становятся предметом рассмотрения. Во многих случаях необходим такой начальный период, когда исследователи используют простейшие формы игр как метод, позволяющий почувствовать сложность проблемы и распознать некоторые основные аспекты, требующие изучения.

3. Игры как инструмент исследования. Цель этого использования (обычно в форме оценки или экспериментальной модели) заключается в том, чтобы прийти к определенным выводам в отношении планов, политики или определенных средств. Ниже приводится пример использования этого типа игр.

4. Игры как средство моделирования явления. В этом смысле игры используются как средство изучения различных факторов, связанных с данной ситуацией, чтобы определить ее важные аспекты и в некоторой степени оценить эти факторы. Этот случай использования является

[40] Говорят, что это ему принадлежат слова, сказанные примерно за 500 лет до нашей эры: «Полководец, выигравший сражение, до боя произвел много расчетов в уме».

[41] Применительно к классификации Олафа Хелмера, корпорация РЭНД.

предварительным шагом на пути к созданию более точной модели, которая может стать частью гораздо более удобной и ценной теоретической формулировки.

Попытки использовать игры в качестве средства исследования или как этап в создании общей теории имеют относительно недавнюю историю. Вероятно, сейчас преждевременно пытаться оценить вклад, который военные игры могут сделать в качестве аналитических методов при принятии решения. Преждевременно также утверждать, что у нас есть весьма полное понимание различных типов игр или проблем, к которым они могут быть применены. Однако даже при таких оговорках мы можем использовать и действительно используем военные игры в качестве аналитических методов.

11.2. Методика военных игр

Военные игры связаны с созданием гипотетической ситуации, в которой две стороны с противоположными интересами и целями взаимодействуют в системе более или менее определенных правил. В этих общих рамках мы можем рассмотреть ряд различных методов, некоторые из которых, возможно, подчеркивают один аспект военной игры, другие — иные аспекты. Мы можем рассматривать различные методы согласно следующим разделам:

1) математические игры;

2) .машинные игры;

3) управленческие игры;

4) игры, требующие посредничества человека.

К математическим относятся игры, поддающиеся анализу с помощью теории игр. В этих играх каждый ход, возможный для одной стороны, соотносится на матрице с ходом, возможным для другой стороны, и предполагаемый результат для каждого сочетания точно определяется. Задача математики заключается в том, чтобы вывести правильный ход действия или стратегию, которую должен применять каждый игрок. В некоторых случаях решения указывают одну лучшую стратегию, которую должен выбирать каждый игрок. Однако в других случаях каждому игроку приходится выбирать одну из нескольких стратегий в соответствии с вычисленной вероятностью. При этом методе правила являются абсолютно определенными и никакого посредничества не требуется. До сих пор метод был подходящим только для ограниченного количества случаев, связанных с боевыми действиями, таких, например, как некоторые типы одиночного перехвата бомбардировщика истребителем.

К другому типу математических игр относится такая игра, в которой каждой стороне предоставляется возможность сделать ряд выборов при распределении сил. Примером такого типа является проблема распределения, при решении которой каждая сторона может предназначать свои самолеты для выполнения любой из трех задач: ПВО, удары по наземным целям, непосредственная поддержка войск. Проблема, подлежащая анализу, заключается в том, чтобы сделать правильный вывод по распределению сил для каждой стороны на всю кампанию. В этой ситуации, как и в предыдущем случае, условия должны быть оговорены очень точно и возможности выбора ограниченны и определенны.

Следующими являются игры, связанные с использованием вычислительных машин. Примером этого типа является игра, отражающая воздушное сражение, в которой прослеживается история

каждой отдельной атаки и ее результат. Правила игры для каждой атаки должны быть определены заблаговременно, и машина, использующая метод Монте-Карло, проигрывает огромное количество атак. Анализ может указать степень критичности для результата боя некоторых факторов, которые были включены для анализа.

Существуют разнообразные машинные методы, позволяющие включать в игру одного или двух человек-игроков, принимающих на месте решения о необходимости проведения атак и об использовании сил, вместо того чтобы эти атаки и силы были определены заранее. В этом случае машина проводит вычисления, основываясь на суждениях игроков.

К третьей категории относятся управленческие игры. Эти игры имеют обычно четкие правила и отличаются от машинных игр тем, что количество возможных действий и их последствий в течение некоторого периода времени становится таким большим и их взаимодействие столь сложным, что превосходит реальные возможности машин. В каком-то смысле эти игры похожи на очень большие шахматные партии. Игры этого типа использовались для изучения стратегических кампаний ВВС, планирования войны и закупок вооружения и военной техники.

И наконец, есть игры, в которых человек участвует как игрок и как посредник; этот тип игр отличается большим разнообразием. Возможны такие игры, когда одна сторона играет против посредника, являющегося непререкаемым авторитетом по результатам каждого хода. В этих играх подобные правила могут применяться и могут не применяться.

Исходя из этого, мы получаем двусторонние или многосторонние военные игры, сочетаний и типов которых существует множество, включая игры, связанные с участием большого количества игроков и многих посредников. Эти игры используются при решении проблем, касающихся национальных и международных факторов.

Так как наиболее широко используются игры, связанные с посредничеством человека, его суждениями и принятием решений, то большая часть последующих замечаний будет относиться именно к этому типу игр.

11.3. Этапы проведения военной игры

Игры, подобно любой другой методике анализа, характеризуются рядом определенных этапов. Несколько произвольно мы могли бы выделить среди них следующие:

1) определение задачи или цели игры;

2) подготовка вводных данных и граничных условий;

3) установление правил и механизма принятия решения;

4) ведение игры;

5) анализ игры.

Для иллюстрации некоторых соображений, важных для понимания каждого из этих этапов, предположим, что мы собираемся применить методы военной игры для оценки эффективности систе-

мы оружия.

Определение цели игры устанавливает рамки для всех последующих этапов. Цель служит показателем сложности игры, уровня детализации, которая будет включена в игру, масштабов игры и анализа. Это одно из таких очевидных утверждений, которые многократно повторяются в ходе игры и в других аналитических методах. Оно *справедливо* и в играх, где пытаются решать очень широкие проблемы, Допускающие множество толкований участников.

Гипотетическая проблема, которую мы избрали, может быть проанализирована очень многими способами. Мы можем принять четко оговоренную ситуацию для заданного периода времени и конкретных условий. Мы можем попытаться оценить систему оружия в определенной военной обстановке, не обращая внимания на предшествующие события или действия в этой ситуации и не беспокоясь о влиянии результата ситуации на остальную часть военной кампании. Если бы мы поступили таким образом и представили наши выводы разумным слушателям, они бы немедленно и совершенно правильно выразили сомнения в отношении выводов. Они бы указали помимо прочего на то, что мы рассмотрели только одну ситуацию и могли легко выбрать другие ситуации, в которых результаты были бы иными, что мы не установили определенной ситуации, подходящей для рассмотрения и фактически не провели полного и всестороннего исследования.

Мы могли бы ответить, что проблема, выбранная нами, сложная и взяли в качестве цели нашего исследования оценку системы оружия в ограниченных условиях, установленных нами. Это могло бы послужить ответом нашим критикам по этому конкретному исследованию, но дало бы только небольшое количество информации, необходимой для принимающего решение.

Учитывая такую возможность, мы можем рассмотреть проблему более широко. Мы могли бы принять решение об исследовании ряда ситуаций, каждая из которых обеспечивала бы ряд различных возможностей для действия системы оружия. Но каких возможностей? Здесь, как и при любом анализе, нам придется рассматривать большое количество альтернатив и вынести первоначальное суждение о том, какие из возможностей имеют наибольшее значение. Следует отметить два момента. Рассматриваемые ситуации — это плод суждения исследователей. Использование суждения неизбежно, но такая неизбежность не должна позволить нам забывать, что эти ситуации не более чем суждения. Второй момент заключается в том, что выбор для исследования одних ситуаций и исключение других является также решением. Каждую возможность можно было бы исследовать весьма подробно до того, как решить, какие возможности следует учесть в игре, однако и такое окончательное решение в лучшем случае — всего лишь грамотная догадка исследователей. И это не обычная догадка; это догадка о том, что определенные ситуации, избранные для исследования, имеют более реальные шансы для реализации по сравнению с теми, что были исключены. Такая догадка — это прогноз будущего. Такой прогноз составляет одну из основных проблем в военных играх. Из-за существующих ограничений во времени, деньгах и людях мы вынуждены ограничивать наш выбор ситуаций для исследования. Но даже если бы этих ограничений было меньше, мы могли бы установить, что для исследования всех более или менее реальных ситуаций понадобилось бы столько времени, что наша система оружия устарела бы к тому времени, когда у нас будет достаточное количество аналитических данных для ее оценки.

Так как нам приходится выбирать одни и отбрасывать другие ситуации, мы, в сущности, решаем, что выбранные нами ситуации более вероятны (мы можем также сказать «более важны», «более заслуживают доверия» или «являются лучшим рядом альтернатив» или дать другое разумное объяснение), чем некоторые другие.

Мы можем попытаться оправдать это, утверждая, будто не собираемся предсказывать, что эти

ситуации *произойдут, а* только собираемся изучить эффективность системы оружия на случай, если бы они произошли. Принимающему решение приходится самому затем определять, достаточно ли вероятны избранные ситуации для того, чтобы результаты анализа приносили пользу.

Мы могли бы попробовать сделать нечто совершенно другое: передвинуть наш анализ в достаточно удаленное от нас будущее, так чтобы даже в случае больших затрат времени для изучения множества различных ситуаций и факторов мы были в состоянии окончить работу с полезными для принимающего решение результатами. Имеется много мнений за и против использования военных игр для анализа отдаленных ситуаций. В настоящее время дать ясный ответ на вопрос о применимости игр для анализа таких ситуаций невозможно. Нам известно только то, что, когда мы углубляемся в будущее, проблемы предсказания начинают затрагивать ряд различных аспектов игры и увеличивают наши затруднения.

Но эти проблемы выбора ситуаций для исследования поддаются решению. Иногда решение основывается на мнении специалистов, иногда на произвольном решении, принимаемом в зависимости от ресурсов, имеющихся в распоряжении участников игр. Иногда оно основывается лишь на «благой надежде», что выбор правилен.

Следующий этап в играх состоит в подготовке вводных данных. Они устанавливаются вместе с определением цели и выбором ситуаций для рассмотрения. Можно различать три их основных типа: данные, необходимые для определения места действия или среды, в которых оружие будет использоваться; данные, необходимые для определения эксплуатационных характеристик и эффективности оружия.

При попытках определить место или условия действия немедленно возникает несколько важных возможностей выбора. Хотя они и относятся к первоначальному выбору цели, но в этот момент приобретают новое значение. Могут быть следующие возможности выбора:

Что нас, прежде всего, интересует при оценке эффективности оружия: стратегия, оперативное искусство или тактика боя? Или, возможно, мы хотим узнать, полезна ли эта система в мировой войне, в локальных войнах или в обоих случаях?

Какой сложности модель политических, военных, экономических тыловых и разведывательных событий следует включить в исследование?

До какого предела могут развиваться действия каждой стороны?

Ответы, которые мы даем на эти вопросы, определяют вводные данные и граничные условия военной игры.

Если военная игра касается ситуации мировой войны, то театр военных действий и участники войны определяются достаточно точно. Вводные данные будут включать сведения о расположении наших сил, расположении сил противника, о наших целях, целях противника и т.д. Здесь мы перечисляем все вводные данные и можем делать это так исчерпывающе, как нам позволят наши знания настоящего или предполагаемого положения и разведывательные данные. Когда начнется процесс игры, мы, может быть, найдем, что есть некоторые критические решения, которые будут приняты и повлияют на наше использование всех этих вводных данных, например, в отношении того, каковы будут наши собственные намерения и намерения противника, так как и нам и противнику, возможно, придется действовать, имея ограниченные ресурсы или ограниченный

выбор целей, средств доставки бомб и т.д.

Если же игра касается ситуаций локальных войн, то имеется огромный выбор возможных театров военных действий, в каждом из которых будут свои специфические факторы, в значительной мере влияющие на оценку эффективности рассматриваемой системы оружия. Кроме того, выбор театра военных действий скажется на развитии ситуации, так как виды предпринятых военных действий будут зависеть от этого театра. Соответственно это скажется и на типах подготавливаемых вводных данных. Должны приниматься во внимание такие факторы, как наличие сил, имеющиеся базы, возможности материально-технического обеспечения, а также характер местности и климатические условия. Все это должно рассматриваться на фоне политической обстановки, обусловливаемой нашими намерениями и целями, а также объективно действующими политическими и военными ограничениями.

Следующий тип вводных данных — эксплуатационные характеристики оружия — обусловливает дополнительные требования. Недостаточно знать только его технические характеристики. Приобретают важность многие другие факторы: возможности развертывания и применения, планы использования, ограничения использования, тактическое использование, оперативно-тактические требования, техническое обслуживание, периодичность проведения ремонта и другие подобные факторы, которые приходится определять. Если наша система оружия является одной из многих систем, которые необходимо включить в игру, и ее отношение к другим системам оружия и силам можно представить, то приходится устанавливать подобные вводные данные и для этих других систем.

Третий тип вводных данных необходим для установления эффективности оружия. Здесь опять имеется несколько более важных проблем, о которых следует сказать. Одна из них связана с тем, что для многих типов нашего оружия мы не имеем данных и информации такого вида, который нам необходим. Наш опыт действий в боевых условиях, по существу, закончился в Корее, и хотя можно сделать много выводов по результатам испытаний, учений с имитацией боевой обстановки и поля боя, мы должны подходить к вопросу об использовании этих результатов в реальных боевых условиях с некоторой осторожностью. Во-первых, небоевые условия всегда отличаются от условий боя, и у нас нет приемлемого и точного средства для соотнесения их с условиями боя. Во-вторых, большая часть того, что мы Действительно знаем, свойственна результатам или значениям в определенных ситуациях, однако в нашей игре мы можем иметь дело с ситуациями, имеющими характеристики, отличные от характеристик, к которым применимы имеющиеся результаты или значения.

Таковы некоторые требования, которые необходимо выполнить при подготовке вводных данных. В каждом возможном случае следует использовать количественные оценки, но существует много таких случаев, когда это невозможно и когда приходится делать обоснованное заключение. Иногда достаточно дать только очень широкую формулировку, в то время как в других случаях необходимо быть настолько точным и определенным, насколько позволяют имеющиеся данные и информация. Количество деталей будет различным для разных игр и будет зависеть от анализируемой конкретной проблемы, но в отличие от многих других методов анализа неопределенность в отношении того, как будет развертываться процесс игры, затрудняет установление заранее правильной степени детализации для всех вводных данных. Это потребует получения или выработки дополнительных данных в процессе игры.

Следующим после подготовки вводных данных и связанным с этой подготовкой этапом является установление правил принятия решений и механизма принятия решения, который будет использоваться для выполнения этих правил. В некоторых случаях эти правила и механизм определяют-

ся заранее настолько полно, что можно оценить без особого труда каждое отдельное событие или ход в игре. В большинстве игр, в которых существует какая-либо степень сложности, это невозможно. Обычным методом преодоления этой трудности является введение посредничества или контрольной системы, которая принимает решение во всех случаях, когда данные или правила являются недостаточными для данной ситуации. Контрольная функция является средством использования суждений для восполнения нашего недостатка в данных или в знаниях. Суждения основываются на каких-либо существующих фактах, а также на возможно большем использовании мнения специалистов. Во многих случаях эти суждения не являются решающими для результата игры, но они необходимы для того, чтобы продолжать игру, когда возникнет ситуация, для которой имеющиеся данные или правила не являются полными или ясными. Однако в двух типах случаев суждения могут иметь решающий характер. Один случай — это когда суждение применяется к конкретному событию или ситуации, которые настолько важны, что влияют на весь результат проводимой игры и оценки. Другой случай — это когда суждение применяется к некоторому ряду действий или событий, происходящих в игре, так часто, что образуется их накопление, влияющее на оценку событий. К этой категории случаев относятся суждения о влиянии оружия, используемого неоднократно. Иногда невозможно установить, каким будет результат в пределах нескольких порядков величин. Если анализ очень сильно зависит от суждения, то, может быть, необходимо пересмотреть игру, взяв несколько разных значений влияния для определения того, как зависит оценка от суждения.

Следующий этап — это само ведение игры. Существует много различных методов игры, которые не будут рассматриваться здесь. Однако следует упомянуть несколько аспектов, относящихся к процессу игры. Игра, в которой существует в любое данное время ряд альтернативных ходов, позволяет исследовать только одну альтернативу в данной игре. Теоретически можно было бы разработать тип игры, который позволит исследовать все альтернативы для всех возможных значений вводных данных в широкой области неопределенности и при большом разнообразии значений для каждого фактора в игре. Но это потребовало бы больших затрат на проведение игр, связанных с принятием решений человеком.

Однако, вообще говоря, приходится принимать решения о том, какой из возможных ходов будет избран. Это решение, в конечном счете, может зависеть от интуиции и суждения участников игры. Оно отличается от принятых решений или проявленной интуиции в начале анализа. Эти первоначальные решения фактически представляют собой допущения анализа. Можно рассмотреть эти первоначальные допущения и в границах реального изменить их таким образом, чтобы исследовать результаты разных предположений. В ходе игры суждения, используемые для выбора одного из вариантов, добавляются к первоначальным допущениям и дополнительно усложняют проблему исследования. Еще один момент, который следует иметь в виду при рассмотрении хода игры,— это окончание игры. Во всех наших салонных и спортивных играх имеются некоторые правила окончания игр, например мат в шахматах или девятая подача без ничьей в бейсболе. Мы знаем, когда игра окончена, и знаем, кто выиграл. В военной игре мы иногда не знаем ни того, ни другого. Верным является то, что игры приходят к концу и что этот конец иногда является определенным. Например, наша система оружия могла бы полностью лишить противника возможности продолжать сражаться сколько-нибудь эффективным образом с военной точки зрения. Хотя могут быть сомнения в том, как долго будет сохраняться определенный результат, эти сомнения не являются решающими для оценки системы. Однако такой тип окончания игры весьма редок. Обычно мы сталкиваемся с ситуацией, которая характеризуется тем, что часть военных возможностей с обеих сторон потеряна, но остающиеся возможности позволяют указать способы, с помощью которых можно продолжать военные операции, а также повлиять на нашу конечную оценку. Чаще всего военная игра заканчивается решением руководства о том, что эта игра не даст больше существенно нового материала для исследования. Хотя

этот метод окончания игры, возможно, не совсем удовлетворительный, существующий уровень наших знаний не представляет нам лучшего выхода.

Заключительный этап игры — ее анализ. В ходе игры накапливается огромное количество информации самого различного вида. Каждая серия ходов в игре требует действий с обеих сторон. Если было сделано большое количество ходов, то может быть накоплено значительное количество данных о распределении дружественных сил, оружия и ресурсов; о целях этого распределения; о распределении сил, оружия и ресурсов противника и его целях; о результатах каждого взаимодействия. Если игровая ситуация очень широка, эти серии ходов будут сопровождаться ходами в области материально-технического снабжения, политики, разведки и экономики. При таком множестве данных можно провести различные виды анализа.

Одним из видов анализа является общая оценка игры, показывающая, как различные серии ходов способствовали достижению окончательного результата. Для этого иногда достаточно критического обзора игры с изложением действий и противодействий с каждой стороны. Изложение может преследовать несколько целей. Оно может дать синтез исторических фактов, на фоне которых возможно оценивать различные условия, обстоятельства и действия, влияющие на использование системы оружия, или же позволяет в некоторых случаях рассмотреть факты повторно для определения их влияния. Или оно может послужить макетом, на котором изменены некоторые первоначальные допущения и где можно исследовать либо другие альтернативы использования системы оружия, либо другие системы оружия.

Связанным с этой общей оценкой, а иногда и совершенно независимым от нее является анализ некоторых частных вопросов. Для системы оружия это может быть ее эффективность в различных условиях, возникающих в ходе игры. Например, нам интересно было бы узнать о том, сколько раз можно использовать систему, чтобы установить количество потерь, нанесенных каждой ее боевой единицей, и определить требования тыловому обеспечению, необходимому для получения данного уровня эффективности. В этих видах анализа многое из более общих результатов игры не будет иметь существенного значения.

Другой вид анализа касается факторов, влияющих на эффективность системы, начиная с политических ограничений и требований разведки и кончая климатическими условиями и характером местности. Этот вид анализа может быть совершенно независимым от сделанных конкретных ходов и касается просто рассмотрения каждой из многих возникающих ситуаций, которые будут характеризоваться другой эффективностью оружия.

Еще один, четвертый, тип анализа касается проблем опознавания, например, таких, которые возникают при развертывании, применении и эксплуатации нашей гипотетической системы оружия. В этих случаях основное назначение анализа, возможно, заключается в указании области, к которой относится проблема, чтобы можно было провести дополнительное ее изучение, что, вероятно, приведет к техническому изучению путей решения этой проблемы. Главное состоит в том, что можно провести ряд различных и часто взаимосвязанных исследований, так как военная игра является источником мнений, отношений и суждений в части проводимого конкретного анализа, а также очень богатым источником данных.

Последнее замечание по играм касается вопроса о ценности полученных данных. В этом вопросе имеются две крайние точки зрения, которых придерживаются люди, знакомые с играми. По одной точке зрения игры так ограничены по своему характеру, так полны предположений и суждений, так лимитированы количеством возможностей, которые можно исследовать, и так искусственны, что ценными (если они вообще имеются) можно считать только незначительное количество полу-

чаемых данных. Согласно другой точке зрения, игры являются моделями в том же смысле, как и многие другие наши аналитические модели; они полны проверок и перепроверок происходящих действий, позволяют получить данные, которые нельзя получить любым другим методом. При этом полученные данные следует считать достаточно ценными для того типа сложных ситуаций, которые изучаются с помощью игр, если эти данные использовать как основу для решения или если они как минимум должны приводить к использованию других методов, которые независимо от игры могут давать дополнительное обоснование для решения.

В целом сомнения в отношении ценности получаемых в игре данных не распространяются на используемую методологию. Они касаются типов проблем, выбираемых для анализа. Эти проблемы обычно включают в себя многие аспекты, которые трудно ясно определить или точно измерить. Они касаются событий или необходимости выбора в будущем, когда неопределенность в отношении наших предсказаний или оценок может быть очень большой, и они связаны с ситуациями, в которых обе стороны имеют много возможных направлений действий, меняющихся в течение игры. Эти типы проблем трудно рассматривать с помощью каких-либо аналитических методов, и о ценности получаемых при этом данных можно судить только в свете сделанных предположений, установленных факторов и критериев и рассмотренных альтернатив по определенной проблеме.

12.СТРАТЕГИЯ РАЗРАБОТОК

В. Метлинг

Первые попытки применения аналитических методов к решению военных проблем относятся ко времени второй мировой войны. Тогда исследование операций оформилось в самостоятельную науку. Сначала аналитические методы использовались только для решения тактических задач, чтобы найти пути для получения наибольшего результата от использования уже существующих видов вооружения и военной техники. В то время многие физики и математики осознали (как писал один из них), что «ранее для создания новых средств тратилось значительно больше научных усилий, чем для правильного использования уже существующей техники» . Стало очевидным, что замена традиционного, основанного на интуиции метода проб и ошибок научными методами математического анализа и статистики позволит лучше решить многие оперативные задачи. Первые работы быстро увенчались успехом.

После войны, когда исследования и разработки приобрели чрезвычайно важное значение, естественным было стремление применить эти мощные методы для подготовки решений по разработке новой техники. Основная проблема разработок состоит в том, чтобы получить максимальный результат, от использования ограниченных ресурсов. Возможности разума человека таковы, что предложений по созданию новых систем поступает всегда больше, чем позволяют их реализовать наличные ресурсы. Бюджетные ограничения вынуждают военных руководителей делать очень трудный выбор. Очевидно, что аналитические методы могут оказать существенную помощь в таком выборе, однако просто согласиться с таким заявлением мало. Основной вопрос заключается в том, чтобы установить, какой вид анализа может быть эффективно использован для выработки решений по разработке новой техники.

Чтобы ответить на этот вопрос, следует сначала признать, что решения по закупке техники или организации операций имеют природу, отличную от решений по разработке новой техники. Проблемы закупки существующих систем по самой сути в корне отличны от проблем, решаемых при разработке новых систем оружия.

Когда решается вопрос о закупке оружия, всегда существует значительная неопределенность

в оценке потенциальной эффективности данной системы и могут возникнуть некоторые сомнения в ее возможностях. Однако мы Достаточно хорошо представляем себе характеристики и знаем в определенных пределах стоимость и возможные сроки поставки. Для целей анализа все эти данные можно считать исходными. Исследователь может сравнивать альтернативы возможных закупок и с помощью определенных критериев, например по стоимости разрушения определенного комплекса целей, выбрать оптимальную структуру сил. Хотя он вынужден будет считаться с серьезными стратегическими и политическими неопределенностями, однако неопределенность в отношении основных характеристик системы оружия, ее стоимости и времени поступления в войска фактически будет отсутствовать. В отличие от этого главной особенностью решений по разработке новой системы оружия является высокая степень неопределенности в оценке сроков завершения разработки, ее стоимости и возможностей использования оружия. Для каждого, имеющего хотя бы отдаленное представление о проблемах разработки новой техники, наличие неопределенности настолько очевидно, что не требует дополнительных пояснений. Однако мы часто склонны (для удобства) забывать, как велики были ошибки наших прогнозов в прошлом. Например, было установлено, что фактическая стоимость производства вооружения превышала расчетную, как правило, в два и более раз, а временами достигала от пяти- до десятикратной величины. Также нередки были случаи задержки поставки вооружения в войска в пределах от двух до пяти лет, хотя общие требования к характеристикам выдерживались более строго, но даже здесь ошибки в оценках на 25% были обычным явлением[42].

Как же такие неопределенности сказываются на решениях проблем разработки новой техники? С неопределенностями можно просто примириться, заявив: «Такова жизнь, но мы обязаны делать выбор. Все, что в наших силах,— это принять наилучшую из возможных оценок и сделать выбор». Это означает, что для сравнения перспективных систем оружия следует использовать наилучшие из доступных оценок стоимости, характеристик и сроков принятия на вооружение и выбрать систему, которая представляется оптимальной. Однако в таком выборе заложена возможность больших просчетов, так как мы пренебрегаем главной особенностью процесса разработки вооружения, т.е. тем, что начальная неопределенность уменьшается по мере развития работ. В сущности, уменьшение неопределенности и приобретение знаний — единственная задача разработки. Главной целью разработки является не создание работоспособной системы, а приобретение знаний — знаний о том, как будет действовать определенный комплекс средств, какой из возможных его составов будет лучшим, как наладить его производство и какое сочетание компонентов образует надежно и уверенно работающий комплекс. Именно незнание этих элементов служит причиной начальной неопределенности в оценках стоимости, сроков разработки и характеристик системы оружия. Накопление соответствующей информации по мере развития работ способствует разрешению неопределенностей.

Поскольку неопределенность уменьшается в ходе работ, искусство принятия решений по разработке новой техники заключается, скорее, в выборе стратегии разработки, а не в выборе оптимальной системы на возможно более раннем этапе работ. Некоторые альтернативы, естественно, можно исключить уже в результате первых исследований, однако не все. Вероятнее всего, останутся два или три варианта, выбор между которыми трудно сделать определенным из-за недостаточности знаний. Тогда проблема будет заключаться в том, чтобы избрать стратегию разработки, обеспечивающую приобретение информации, необходимой для этого выбора. Это означает, вероятно, необходимость вначале работать по нескольким направлениям, а только затем, по мере развития работ, этап за этапом вести переоценку альтернатив, сужать возможный диапазон выбора.

---

[42] Оценки характеристик бывают более точны главным образом потому, что жертвуют деньгами и сроками для достижения заданных характеристик. Когда же становится очевидным, что создать систему оружия с определенными характеристиками в пределах намеченных сроков и стоимости разработки невозможно и нужно от чего-то отказываться, то этим «чем-то» оказывается сочетание двух последних элементов оценки.

Тогда, в конечном счете, работа завершится созданием одной системы.

То обстоятельство, что цель разработки заключается в приобретении информации, необходимой для оценки как характеристик системы оружия, так и сроков и стоимости ее разработки, имеет важнейшее значение для анализа систем. Возможность уменьшения неопределенности добавляет еще одно направление в проблеме принятия решений. Теперь недостаточно только решать, какой из возможных, результатов будет оптимальным. Следует также решать вопросы о целесообразности затрат на приобретение дополнительной информации, т.е. о целесообразности продолжения разработки до некоторого следующего рубежа, (прежде чем будет принято окончательное решение). Парадоксально, но анализ, целью которого является выбор і среди альтернатив, должен решать также и вопрос о том, когда целесообразно сделать такой выбор.

Рассмотрим это положение на следующем простом примере. Положим, что нам предстоит принять решения о дальнейшей судьбе разработки межконтинентальной баллистической ракеты. В результате предшествующих работ осталось две альтернативы: 1) ракета *А,* использующая долгохранимое жидкое топливо, и 2) ракета *Б,* использующая твердое топливо. Для простоты предположим известными возможный срок принятия на вооружение этих систем и их боевые возможности. В действительности последнее условие нереально, и, как известно читателю, большая часть усилий в анализе расходуется на оценку боевых возможностей альтернативных систем и их полезности. Однако в нашем конкретном случае будем считать известными боевые возможности ракет и тем самым сведем число переменных до одной, а именно стоимости.

Наша задача заключается теперь в том, чтобы в пределах оговоренного срока получить в свое распоряжение возможности, предоставляемые межконтинентальными баллистическими ракетами при минимальной их стоимости, где стоимость, по определению, представляет полную стоимость разработки, закупок и эксплуатации. Когда перед руководителем стоит такая проблема, он, естественно, не знает, какая из этих двух альтернатив, в сущности, потребует минимума затрат. Предположим для простоты, что наилучшие из оценок стоимости ракет Λ и В, которыми он располагает, сведены в табл. 12.1. Другими словами, эти цифры представляют личную оценку руководителем вероятной стоимости этих двух ракетных систем.

Итак, наш руководитель убежден, что ракета *А* будет стоить с равной вероятностью 8 или 10 млрд. долл. Точно так же он уверен, что разработка ракеты *Б* потребует 7,5 или 13,5 млрд. долл. тоже с равной вероятностью. Конечно, руководитель может заявить, что считает любое распределение стоимости ракеты в этом диапазоне равновероятным. Однако непрерывное распределение трудно выразить арифметически, так что мы вынуждены отказаться от него, чтобы сохранить простоту примера.

Такое распределение вероятной стоимости ракет показано на рис. 12.1. Руководитель может заявить: «Я должен выбирать, а рациональный выбор — это выбор системы с наименьшей ожидаемой стоимостью». Другими словами, он может предпочесть ракету *А* на том основании, что ее ожидаемая средняя стоимость будет 9,5 млрд. долл. в отличие от 10,5 млрд. долл. для ракеты *Б.*

Согласившись с такими оценками вероятной стоимости, можно заключить, что существует четыре и только четыре вероятных сочетания стоимости. Они выражены в табл. 12.1 и соответствуют вероятным оценкам, показанным на рис. 12.1.

Если Si (или состояние 1) является тем случаем, когда ракета *А* стоит 8 млрд. долл., а ракета *Б* — 13,5 млрд. долл., то S_2 _ случай, когда или ракета *А* стоит 10 млрд. долл., или ракета *Б* — 13,5 млрд. долл. и т.д. Когда руководитель впервые встречается с подобной задачей, он, естественно, не зна-

ет, какая из этих четырех ситуаций реализуется в действительности. Если он выберет ракету *А,* считая ее более дешевой, и в будущем будет реализовано состояние Si или S_2, то его выбор будет справедлив, но если в действительности будет реализовано состояние S_3 или S_4, то выбор *А* поведет к материальным потерям.

Последнее {т. е. неправильный выбор) он предпочел бы избежать, однако, не располагая дополнительной информацией, он не может доказать справедливости выбора. Здесь оправдывается сделанное ранее замечание о природе процесса разработок. Необходимость в разработках определяется необходимостью в информации, уменьшающей неопределенность. Если руководитель, продолжая разработку, получит возможность повысить достоверность, то он может существенно повысить качество нового решения.

Чтобы показать это, примем крайний случай и оценим объем затрат, необходимых на установление истинности одной из четырех ситуаций, показанных в табл. 12.1. Другими словами, зададимся вопросом, сколько может заплатить руководитель, чтобы выяснить, какое из этих четырех состояний будет возможно в действительности? Чтобы ответить на вопрос, предположим сначала, что нам стало известно, какое из этих четырех состояний реализуется. Если это состояние Si или S_2, то руководитель выберет ракету *А* так же, как он сделал ранее, считая ее стоимость наименьшей. Если ему сообщат, что истинными будут состояния S_3 или S_4, то он изберет ракету *Б,* имеющую в этом случае меньшую стоимость. Если реализуется состояние S_3, то экономия составит 0,5 млрд. долл. (по сравнению с ракетой *А), а* если S_4 — то 2,5 млрд. долл.

Естественно, что в действительности, принимая решение, руководитель никогда не может знать, какое из четырех состояний будет реализовано. В сущности, он вынужден рассматривать каждое из них как равновероятное. Тогда вероятность каждого из состояний будет равна 0,25, а его средняя, или ожидаемая, экономия составит 0,25 х 0,5 млрд. долл.= 0,125 млрд. долл. Другими словами, уверенность в реализации одного из состояний позволит руководителю сэкономить 0,75 млрд. долл., тогда, если он сможет приобрести подобную информацию за сумму, меньшую 0,75 млрд. долл., будет разумным принять соответствующие меры. Точнее, если дальнейшая разработка позволит ему определить реальную стоимость двух альтернатив, то он может позволить себе истратить дополнительно до 750 млн. долл. на одну из этих ракет, даже если ее разработка впоследствии будет прекращена.

В реальной действительности перед руководителем стоят несравненно более сложные проблемы, чем показано в нашей элементарной модели, однако ее задача и не заключалась в том, чтобы отразить всю сложность реальной ситуации. Я также не намеревался создать впечатление, что корпорация РЭНД занимается разработкой подобных моделей и, наполняя их цифрами, рекомендует решения по разработке новой техники, Задача настоящей модели и подобных моделей вообще ограничивается помощью в понимании природы подобных решений, чтобы необходимый для решений анализ можно было вести правильно даже без формального использования модели. Такая модель позволяет уяснить, что, принимая решение по разработке новой техники, нельзя ограничиться учетом только наилучших оценок основных свойств рассматриваемой системы. Для принимающего решение набор альтернатив не ограничивается выбором среди отдельных видов изделий, т.е. систем оружия. Такое сравнение необходимо, но оно является только частью всей проблемы. Руководитель, принимая решение, должен учитывать также возможность начала новой программы, которая позволит не только приблизиться к созданию оперативной системы оружия, но и приобрести информацию, необходимую для принятия окончательного решения на более позднем этапе работ.

Важность этого положения для анализа систем вряд ли можно переоценить. Первое и самое глав-

ное — это то, что сам исследователь обязан четко представлять природу стоящей проблемы. Он должен понимать, что выбор системы, кажущейся оптимальной на данном уровне информации, может увести его далеко от оптимального результата. Другими словами, он должен составить правильную серию альтернативных курсов действий как для самого себя, так и для руководителя. Если это сделано, он может анализировать полученную информацию и выявить ее соответствие данной серии альтернатив. В общем это будет означать нечто большее, чем только оценку ожидаемой стоимости рассматриваемых альтернативных систем. Это означает, что нельзя ограничиться только оценкой стоимости ракеты А в 9 млрд. долл., а ракеты *Б* в 10,5 млрд. долл. Очень важно, чтобы исследователь в результате своего анализа мог бы ответить на следующие четыре вопроса:

1) насколько велика существующая неопределенность?

2) что следует сделать, чтобы ее уменьшить?

4) каковы затраты на уменьшение неопределенности?

5) какова степень уменьшения неопределенности при продолжении разработки?

К сожалению, в реальных ситуациях редко можно найти готовые ответы на подобные вопросы. В большинстве случаев ответ должен быть выражен в количественной форме, но даже если и можно получить количественные оценки, то сами они, как видно из третьего вопроса, содержат большую неопределенность. Все же целесообразно рассмотреть каждый из этих вопросов более подробно.

12.1. Насколько велика неопределенность?

Распределение вероятностей, принятое в нашем примере для характеристики неопределенности в оценке стоимости, отражало субъективное «доверие» руководителя к оценкам стоимостей ракет *А* или *Б.* Попытка построения подобного распределения в реальных условиях представляет громадные трудности. Упомянем для примера только одну из них — чьи суждения о характере этого распределения следует принять?

Тем более важно иметь некоторое представление о степени неопределенности, присутствующей в наших оценках, так как объем работ, необходимых для приобретения информации, требуемой для выбора одной из альтернатив, зависит, прежде всего, от степени неопределенности, связанной с каждой из них. Если, например, мы убеждены, что стоимость ракеты *А* составит 8 млрд. долл. с вероятностью 0,99 и 10 млрд. долл. с вероятностью 0,01, а стоимость ракеты *Б* — соответственно 13,5 млрд. долл. с вероятностью 99% и 7,5 млрд. долл. с вероятностью 0,01, то наша решимость в продолжении обеих этих разработок будет существенно меньше, поскольку теперь вероятность ошибочного решения будет явно мала и достоверность результата анализа уменьшится несущественно.

В сущности, мы хотели бы иметь распределение вероятностей оценок каждого варианта. Если речь идет, например, об оценке стоимости, то важно знать, будет ли распределение вероятности иметь один из двух видов (рис. 12.2).

Наше отношение к необходимости приобретения дополнительной информации в каждом из этих случаев будет совершенно разным. Однако такое четкое определение характера неопределенно-

стей редко бывает возможным.

Даже если все эти неопределенности субъективны и не могут быть формализованы, исследователь все же может иметь некоторое представление о характере их распределения, особенно если у него была ранее возможность наблюдать, как создаются подобные оценки. Он или его коллеги по исследованию могут рассмотреть систему по элементам, чтобы определить характер основных трудностей на пути ее реализации и оценить область основных неопределенностей. Если среди специалистов нет согласия в осуществимости данной системы, то это, несомненно, является доказательством наличия высокой степени неопределенности.

О неопределенности можно получить некоторые представления, если проверить чувствительность оценок к изменению главных параметров: как изменится, например, стоимость, если гарантийный срок хранения твердого топлива будет уменьшен на половину? Как скажется на стоимости увеличение объема технического обслуживания в четыре или пять раз по сравнению с расчетным?

Готовых рецептов для подобного анализа, очевидно, не существует. Он основан в значительной мере на суждениях и интуиции исследователя, однако это обстоятельство ни в коей мере не снижает полезности подобной работы.

12,2. Что следует сделать для уменьшения неопределенности?

Как только исследователь получит представление о степени и причинах неопределенности, он должен выяснить, что надлежит предпринять для уменьшения этой неопределенности. В нашем примере был рассмотрен крайний случай, когда все неопределенности были исключены, однако в реальной действительности всегда имеется ряд уровней неопределенности, которые следует последовательно преодолевать. Эти уровни обычно совпадают с этапами в разработке системы оружия — разработке ее компонентов или подсистем, но они также могут быть связанными со специальными испытаниями опытных образцов, топлив, материалов и пр. Чтобы быть полезным, исследователь должен указать на этапы, где может быть получена дополнительная информация, и предложить специальные испытания там, где это представляется желательным.

Для примера предположим, что стоимость одной из наших ракет в значительной мере зависит от надежности системы наведения. Выявив это, исследователь должен затем оценить объем и характер недостающей информации, которую следует восполнить на каждом из последующих этапов разработки, подчеркнуть необходимость определения степени надежности на возможно более ранних этапах разработки и указать на возможность постройки опытных образцов системы наведения для определения с большей уверенностью степени серьезности проблемы надежности.

12.3. Каковы затраты на уменьшение неопределенности?

Целесообразность дополнительных работ, необходимых для уменьшения неопределенности до принятия окончательного решения по разработке, зависит от объема затрат, необходимых для приобретения недостающей информации. Из приведенного примера видно, что для увеличения точности оценки стоимости двух наших ракет затратить больше 750 млн. долл. неразумно. С другой стороны, имеется ряд промежуточных уровней неопределенности, для достижения которых может быть целесообразным произвести дополнительные затраты. Например, можно поставить вопрос, насколько целесообразным будет увеличение достоверности оценок их стоимости от принятых нами 0,5, до скажем, 0,75 и 0,25 (тогда окажется целесообразным затратить еще 125 млн. долл.

на подобное уменьшение неопределенности).

Важным обстоятельством будет то, что руководитель, принимая решение, должен располагать данными о стоимости продолжения работ по этапам и сопоставлять ее с объемом приобретаемой информации. Оценки только полной стоимости разработки будет недостаточно. К сожалению, подобные оценки стоимости разработки также неточны. Однако отсутствие желаемого объема информации не освобождает руководителя от ответственности, тогда требуется использовать всю возможную информацию.

12.4. Какова степень уменьшения неопределенности продолжения разработки?

Исследователь должен снабдить руководителя наилучшей из оценок значения дополнительной информации, приобретаемой в случае продолжения разработки. Знать это необходимо, поскольку именно соотношение ценности приобретаемой информации со стоимостью продолжения работ определяет характер принимаемого решения. Очевидно, что эта задача очень трудна. Четкое определение вроде «неопределенность может быть уменьшена на столько-то процентов после первого полета» невозможно. Однако считать эту задачу безнадежной нельзя. Из опыта известно, что оценки стоимости улучшаются по мере развития работ. Уже по результатам первых полетов можно составить представление о летных характеристиках самолета; то же можно сказать и об испытаниях других видов оборудования. Более того, если будет признано с самого начала необходимым, то программы разработки и испытания могут быть составлены с учетом необходимости получения критических данных по этапам работ.

Требуя, чтобы исследователь систем в результате своего анализа представил руководителю ответ на эти четыре вопроса, мы возложили на него обязанности, которые могут устрашить самого решительного работника. Однако во многих случаях проблема имеет еще более грозный вид. Взять хотя бы то, что разработка систем является последовательным процессом, который требует решений на каждом из этапов работ. Вопрос не заключается в том, чтобы с самого начала работ решать, что и как делать в дальнейшем вплоть до принятия системы на вооружение, а затем реализовывать этот план. В действительности задача работ на втором этапе разработки в значительной мере зависит от результата работ первого этапа и т.д. Исследователь тем самым вынужден следовать за ходом работ и корректировать свои первоначальные заключения в ряде последовательных циклов анализа.

Задача исследователя усложняется еще тем, что в состав современной системы оружия входит множество разнообразных элементов, а степень неопределенности в разработке каждой из подсистем различна; их элементы могут требовать различного подхода по этапам разработки. И что еще более важно, принимая решение в процессе разработки, руководитель никогда не может судить о характеристиках, сроке и стоимости разработки с такой уверенностью, как в приведенном примере. Эти три важнейших параметра проблемы тесно связаны между собой и определяются в процессе взаимных компромиссов. Сократить сроки разработки можно, как правило, только за счет ухудшения характеристик и увеличения стоимости. Выбор наилучшего сочетания этих трех слагающих является важнейшей частью всей проблемы.

В дополнение ко всему остаются неопределенности в оценке основных политических и стратегических факторов, определяющих наш выбор .

Каковы будут военные возможности противника через 5 или 10 лет? Каково будет отношение насе-

ления к военным расходам в будущем? Каковы будут наши политические обязательства в будущем?

В итоге проблема, которая стоит в начале разработки современных систем оружия, заключается, скорее, в выборе политики разработки, чем в выборе конкретного вида готового изделия. Цель разработки состоит в увеличении точности наших оценок характеристик различных вариантов систем оружия и вероятных сроков их разработки. Качество анализа полностью зависит от того, насколько точно исследователь сможет учесть эти обстоятельства в своей работе. Он должен указать руководителю на возможности получения и использования такой информации. Это совсем не простая задача и это не та задача, в решении которой можно положиться на аналитические методы, заменив ими интуицию, разумные суждения и опыт. Здесь также невозможно установить твердые правила, следуя которым можно было бы автоматически гарантировать выбор правильной стратегии разработки. Тем не менее, существуют более или менее разумные пути решения этой задачи, и специалист по анализу систем может внести свой существенный вклад, если он осознает подлинный характер своей задачи и будет действовать соответственно.

13.МАТЕМАТИКА И АНАЛИЗ СИСТЕМ

Э. Квейд

Непосвященный читатель может думать, что математика способна ответить на все проблемы анализа систем. Математические методы принесли — успех в решении многих сложных проблем естественных наук. Это позволило полагать, что область их применения можно распространить и на решение более широких и еще более сложных задач анализа систем. Такие надежды основывались не только на аналогии. Уже из примеров, представленных в гл. 3, можно было заключить, что анализ систем стремится определять соотношения между большим числом количественных параметров и тем самым в большей или меньшей степени связан с использованием математических средств.

Каждый, даже поверхностно знакомый с литературой по исследованию операций — науки, которая по своему методологическому подходу имеет много общего с анализом систем ,— может полагать, что успех анализа зависит от степени знакомства с рядом специальных приемов математики. Действительно, за свою короткую жизнь в качестве самостоятельной дисциплины исследование операций так прочно освоило ряд математических методов (линейное программирование, метод Монте-Карло, теорию игр и ряд других), что, казалось, эти методы исчерпывают ее содержание.

В то же время диапазон трудностей решения задач анализа систем очень широк — от трудных философских проблем, касающихся самих ее основ, до чисто технических или математических трудностей. Четкой границы между ними, к сожалению, нет. Математические методы исследования операций применимы для преодоления ряда технических трудностей, но не для решения проблем другого конца спектра, что отнюдь не принижает значения математических методов. Поэтому читателю будет полезно познакомиться с некоторыми из них, хорошо зарекомендовавших себя в решении широкого и важного класса задач, хотя нет сомнения в том, что понимание фундаментальных основ анализа более важно, чем овладение его техникой, хотя бы потому, что для решения поставленной задачи обычно можно применить элементарные, но менее эффективные средства. Овладение же новой техникой часто позволяет углубить понимание основ.

Диапазон аналитических средств исследования операций и анализа систем весьма широк — от вычислительной техники типа электронно-вычислительных машин или таблиц случайных чисел до общих методов типа динамического программирования, метода Монте-Карло или теории массового обслуживания. Рассмотрим вкратце некоторые из наиболее популярных методов, обратив

специальное внимание на их ограничения и роль, которую они могут играть в анализе военных проблем.

13.1. Линейное программирование

Исторически понятие «программа» определяло временную последовательность взаимосвязанных действий, выраженных количественно. Теперь под программой часто понимают серию команд, предписанных человеку или машине и определяющих последовательность действий, направленных на достижение конечной цели.

Если исследуемый вид деятельности можно отразить в математической модели, то для определения наилучшей последовательности действий можно использовать вычислительные методы. Это и будет математической программой.

Многие виды экономической, производственной или военной деятельности можно выразить (хотя бы приближенно) системой линейных уравнений и неравенств. Если это можно сделать, то используется линейное программирование — самый известный и широко применяемый метод исследования операций. Его основные особенности можно показать на простейшем числовом примере.

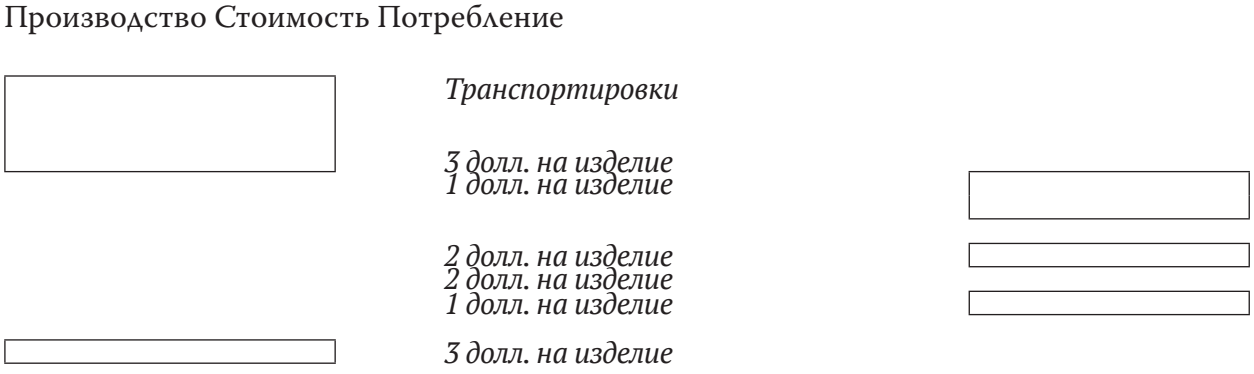


Рис. 13.1. Простейшая задача линейного программирования.

Предположим, что некая фирма имеет два завода. Один из них (*A*) производит за единицу времени три изделия, а другой *(B)* — четыре. Есть три потребителя этих изделий. Один из них, расположенный в пункте M, получает за единицу времени одно изделие, другой, находящийся в пункте *N,* — два изделия, а третий, находящийся в пункте *P,* — четыре изделия.

Если расходы на перевозку одного изделия составляют: из пункта *A* в *M* — 3долл., из *A* в *N* — 2 долл., из *A* в *P* — 1 долл., из *B* в *M* — 1 долл., из *B* в *N* — 2 долл., из *B* в *P* — 3 долл. (рис. 13.1), то при некоей схеме распределения изделий по маршрутам транспортные расходы будут минимальны.

Можно, например, доставлять по одному изделию из *A* в *N, M* и *P,* еще одно изделие — из *B* в *N* и, наконец, три изделия — из *B* в *P.* Тогда транспортные расходы составят: (3 х 1) + (2 х 1) + (1 х 1) + (2 х 1) + + (3 х 3) = 3 + 2 + 1 + 2 + 9 = 17 долл.

Однако большие преимущества представит схема транспортировки, когда три изделия доставляют из *A* в *P*, а остальные из *B.* Тогда расходы составят: (1 х 3 + +(1 х 1) + (2 х 2) + (3 х 1) = 3+1 +4 + 3 = 11 долл. Но будет ли этот вариант лучшим?

В нашем примере количество вариантов невелико и ответ легко получить их перебором.

Однако при нескольких сотнях адресатов и изделий на определение лучшей из альтернатив потребуется недопустимо много времени. Действительно, в некоторых случаях их число будет столь велико, что пересчет всех возможных сочетаний немыслим. Электронно-вычислительные машины методами линейного программирования могут решать подобные, так называемые транспортные задачи, включающие до 3200 уравнений и 600 тыс. переменных. Линейное программирование позволяет найти лучший или один из лучших вариантов решения без обсчета по отдельности каждого из возможных вариантов.

Прилагательное «линейное» в названии «линейное программирование» определяет характер соотношения между видами деятельности и ресурсами. Так, в нашем примере число изделий, направленных из *A,* должно быть больше нуля или равно нулю или меньше трех или равно трем. То же соотношение справедливо и для *B.* Математически эти уравнения выражаются линейными неравенствами. Поскольку стоимость транспортировки *n* аналогичных изделий в *n* раз больше стоимости транспортировки одного изделия, то эти равенства и неравенства будут линейными.

Сущность метода в применении к транспортным задачам заключается в том, что вычислителю, человеку или машине, задано правило: если замена одного маршрута другим уменьшает общую стоимость доставки груза, то его следует отправлять этим маршрутом столь часто, сколь это возможно по ограничению числа изделий. Это исключает необходимость расчета транспортных расходов для всех возможных вариантов маршрутов и создает уверенность в том, что рассмотренного числа случаев достаточно, чтобы не упустить ни одного из разумных вариантов.

Линейное программирование полезно также при решении сетевых задач. Положим для примера, что сеть связей состоит из *n* станций, способных передавать, принимать или ретранслировать сообщения. Предположим также, что станции соединены каналами, каждый из которых имеет постоянную пропускную способность. Это позволяет методами линейного программирования выбрать схему связи, максимизирующую число сообщений в единицу времени.

Простота математической модели создает впечатление, что возможности применения линейного программирования меньшие, чем это есть на самом деле. Хотя выражать задачи требуется в форме, согласующейся со схемой линейного программирования, однако системы линейных неравенств можно использовать для приближенного решения самых разнообразных задач.

Составление этих уравнений часто представляет большие трудности, особенно если к модели предъявляют требование с максимальной полнотой отразить детали исследуемого процесса, но и в этих случаях всегда сохраняется возможность отыскать приемлемую форму аппроксимации.

Математики много работают над тем, чтобы охватить методами линейного программирования классы задач, решаемых сейчас методами динамического программирования, целочисленного программирования и программирования в условиях неопределенности. Стремление к более широкому использованию этого метода велико прежде всего потому, что алгоритм вычисления столь мощный, что позволяет обсчитывать системы, состоящие из сотен уравнений.

Этот метод используют также для определения состава нефтепродуктов, обеспечивающего максимальную прибыль, или диеты требуемой калорийности при минимальной стоимости, для определения нарядов на работы с учетом квалификации рабочих и для выбора оптимальной трассы сооб-

щений в связных сетях.

13.2. Метод Монте-Карло

Метод Монте-Карло также используется в анализе систем. Он, грубо говоря, позволяет получать приближенные решения задач с помощью эксперимента со случайными числами. Предположим, что требуется определить вероятность выигрыша в одиночной карточной игре, скажем Конфилд . Попытка прямого расчета делает очевидным, что объем вычислений чрезмерно велик. Можно также провести игру большое число раз, например *N* раз, и подсчитать число выигрышей *n,* определить затем его вероятность как отношение *n/N.* Это может привести к ошибкам, однако их величина будет уменьшаться с увеличением числа партий. Для ускорения расчетов игру можно моделировать на электронной цифровой вычислительной машине, работающей с большой скоростью, и поручить ей игру. Однако даже при быстродействующей ЭВМ число испытаний для получения доброкачественного ответа может быть чрезмерно велико, если величина ошибок уменьшается медленно. В любом случае, однако, разумное сочетание анализа со случайными испытаниями, вероятно, окажется весьма эффективным. В этом суть метода Монте-Карло.

Метод Монте-Карло является развитием используемых в статистике методов выборочных испытаний. Отличие заключается в том, что методом Монте-Карло стремятся найти ответ на математические задачи и вести испытания в абстрактных ситуациях, а не пользоваться результатами реальных обследований. Абстракция, позволяющая менять объект исследования, дала возможность существенно усовершенствовать метод.

Во время второй мировой войны ряд проблем, возникших в процессе создания атомного оружия, был разрешен в Лос-Аламосе методом Монте-Карло. Характерная задача заключалась в том, чтобы определить число нейтронов, проникающих сквозь оболочку данной конструкции, причем это число нейтронов могло меняться как случайно, так и закономерно.

Методом Монте-Карло на вычислительной машине воспроизводили математическую модель реальной ситуации и прослеживали путь атомных частиц, используя случайные числа. Исследуя реальные проблемы диффузии атомных частиц через экраны ядерных реакторов, физики по необходимости занимались моделированием реальных физических процессов. Их не интересовали модели сами по себе, им необходимо было исследовать реальные процессы, которые они не могли воспроизвести в натуре. Возможность изменения модели или ее параметров для сокращения стоимости расчетов путем уменьшения числа выборок представлялась им самой важной особенностью этого метода. Такие математические приемы, позволяющие уменьшить дисперсии выборок, были названы средствами уменьшения вариаций. Поэтому теперь часто утверждают, что выборочный расчет не будет собственно методом Монте-Карло до тех пор, пока не использованы средства уменьшения вариаций.

Метод Монте-Карло широко применяется в исследовании операций главным образом потому, что это простейший из всех вычислительных методов, пригодных для решения больших и сложных проблем, типичных для этой науки. Случайность часто является характерным элементом этих проблем. Они нередко бывают новы и трудно формализуемы. Даже если их можно выразить в математической форме, то почти никогда не удается свести к известному виду, в результате чего бывает трудно или невозможно применить традиционные методы анализа. В то же время для метода Монте-Карло достаточно построить модель реального процесса. Поскольку быстродействующие ЭЦВМ принимают на себя основную долю вычислительного труда, метод Монте-Карло часто позволяет заменить вычислительной техникой математическую изобретательность и мысль. Более того, для решения большей части проблем, встречающихся в исследовании операций

и анализе систем, не существует других методов, кроме метода Монте-Карло, особенно если помимо определения ожидаемой величины параметра желательно получить также оценку вероятного распределения результата. Если задача бывает сложна, то традиционные методы анализа обычно становятся бесполезными.

Однако в исследовании операций метод Монте-Карло используется иначе, чем в физике. Здесь чаще стремятся возможно точнее воспроизвести реальную ситуацию. Поэтому методы уменьшения числа выборок применяются значительно реже, не говоря о том, что мы не всегда знаем, как можно эти методы применять. Существует еще два обстоятельства, объясняющие малую распространенность этих методов. Во-первых, в большей части задач исследования операций, в отличие от задач физических наук, нет необходимости в высокой точности результата. Его малая точность, вероятно, неизбежна всегда, поскольку исходные параметры часто связаны с неопределенностями, а модели, как бы они ни были сложны, не могут быть адекватны. Кроме того, исследователя часто вообще не интересуют детали, а ему требуется найти новый способ ведения операции и оценить его основные отличия от старого. В этом случае численность выборок будет не слишком велика, даже если пользоваться чисто случайными выборками. Во-вторых, необходимо реальное отображение процесса на модели. Средства уменьшения вариаций обычно приводят к серьезным искажениям представления о процессе, превращая типичный случай в редкое явление и наоборот.

Чтобы показать подход, типичный для метода Монте-Карло, рассмотрим следующий очень упрощенный процесс обслуживания.

Положим, что изделия поступают в случайной последовательности на пункт обслуживания, где их обрабатывают поочередно. Предположим, что интервалы между случайными моментами поступления составляют в 40% случаев 10 *мин, а* в 60% случаев — 20 *мин.* Предположим, что длительность обслуживания также изменяется случайным образом, причем требуется 10 *мин* для обслуживания 80% изделий и 30 *мин* для обслуживания остальных 20% изделий.

Тогда для каждого изделия будем иметь:

средний интервал между поступлениями; 0,4 x 10 + + 0,6 x 20 = 16 *мин,*

среднее время обслуживания: 0,8 x 10 + 0,2 x 30 14 *мин,*

среднее время простоя: 16–14 = 2 *мин.*

Нас интересует среднее время ожидания обслуживания. Чтобы решить эту задачу, используем модель, где интервалы между моментами поступления и длительностью обслуживания выражаются последовательностью случайных чисел. Сначала выберем случайные числа, чтобы определить интервалы времени между поступлениями изделий. Если это будут 0, 1, 2 или 3, считаем интервал прибытия равным 10 *мин.* Если это 4, 5, 6, 7, 8 или 9, будем считать его равным 20 *мин.* Аналогично для определении времени обслуживания поступающего изделия выберем второй ряд случайных чисел. Если это будет 0, 2, 3, 4, 5, 6 или 7, то время обслуживания составит 10 *мин,* а если это будет 8 или 9, то сочтем его равным 30 *мин.*

Теперь мы можем заполнить табл. 13.1, полагая начало процесса в момент времени 0. Здесь *R* и *R'*

представляют собой случайные числа.

Таблица 13.1 — Простейшая задача массового обслуживания

N	R	Момент поступления	Момент начала	*R'*	Длительность обслуживания, *мин*	Момент конца	Длительность	Длительность простоя
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	-	0	0	2	10	10	0	0
2	1	10	10	8	30	40	0	0

Продолжение таблицы 13.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	9	30	40	6	10	50	10	0
4	8	50	50	1	10	60	0	0
5	8	70	70	9	30	100	0	10
6	2	80	100	4	10	110	20	0
7	5	90	110	1	10	120	20	0
8	7	110	120	3	10	130	10	0
9	4	130	120	4	10	140	0	0
10	9	150	150	9	30	170	0	10

Таким образом, для 10 выборок, указанных в таблице, общее время ожидания составляет 60 *мин,* или 6 *мин* на изделие в среднем. Этот пример оставляет без ответа многие вопросы, например вопрос о числе выборок, необходимых для получения достоверной величины времени ожидания, однако он наглядно демонстрирует основные особенности метода Монте-Карло в том виде, как он применяется в исследовании операций.

Метод Монте-Карло используется в исследовании операций и анализе систем все чаще, по мере того как усложнение рассматриваемых проблем затрудняет или делает невозможным применение классических аналитических или численных методов. Преимущество метода Монте-Карло заключается не только в способности решать задачи, недоступные по трудности другим методам. Так, с его помощью всегда можно получить удовлетворительный ответ, если число выборок достаточно велико, и, как это бывает часто в задачах исследования операций и редко в физике, число выборок не требует применения методов, искажающих закон распределения. Здесь метод Монте-Карло дает возможность дополнительно, помимо среднего значения интересующего нас параметра, определить диапазон и вариации распределения. Так, в рассмотренной выше частной задаче одиночной игры он позволяет не только определить вероятность выигрыша, но и оценить ожидаемое число разыгранных карт и вероятность использования в одном туре игры определенного числа карт.

Хотя метод Монте-Карло является в сущности средством численного анализа, при изучении с его помощью физических процессов часто удается установить их характерные черты, позволяющие создать удовлетворительные аналитические модели процессов.

13.3. Теория игр

Методы линейного программирования и Монте-Карло — типичные средства исследования операций; теорию игр вряд ли можно считать таким методом, особенно если учесть число случаев, когда она использовалась для решения реальных задач. Однако по существу теория игр принесла исследованию операций больше пользы, чем другие методы,— она позволила по-иному взгля-

нуть на природу конфликтов.

Теория игр — математический метод планирования действий в конфликтных ситуациях — единственная до последнего времени удовлетворительно разработанная математическая теория. Попытка наблюдения и классификации типов поведения сторон в подобных ситуациях, естественно, не нова. Однако помимо стремления создать модели для определения оптимального курса действия путем арифметических расчетов или, в более сложной форме, путем вариационного исчисления, теория игр занимается выбором оптимальной стратегии действий с учетом не только возможных действий самой планирующей стороны, но и действий ее противников. Виды решений предусматривают возможность обмана и достижения соглашений.

Термин «теория игр» можно считать неудачным, поскольку он содержит намек, что предметом теории служат исключительно конфликты, встречающиеся в карточных играх вроде покера. Однако теория игр имеет несравненно более широкую область применения. Действительно, многие проблемы принятия решений в военных или экономических конфликтах в значительной степени аналогичны проблемам, встречающимся в таких играх. Их сходство с карточными играми является исходным пунктом для изучения стратегии, особенно если действуют четкие правила и явно выражены побудительные мотивы.

Теория игр рассматривает проблему выбора стратегии, позволяющей участнику конфликта получить наибольший выигрыш, например, в следующих условиях:

1) участники пытаются выявить стратегию противника и скрыть свою;

2) каждый из участников может только частично контролировать результат игры;

3) участники могут блефовать и совершать обманные действия;

4) участники могут располагать различными объемами информации или разведывательных данных о противнике;

5) действия участников могут быть ограничены случайными факторами, т.е. не контролируемыми участниками переменными и не представляющими определенного преимущества ни одной из сторон.

Все действия участников должны быть ограничены строго сформулированными правилами игры. Таким образом, игрок может прибегать к шпионажу или перехвату переговоров для выявления стратегии противника только в том случае, если подобные действия разрешены правилами игры.

Теория игр не охватывает всего многообразия факторов, определяющих поведение сторон в конфликтной ситуации. Она имеет два основных ограничения: во-первых, теория игр предполагает, что все исходы игры можно оговорить и каждый из участников способен оценить результат в определенной мере, причем большая цена будет предпочтительнее меньшей; во-вторых, все переменные, определяющие выигрыш и его цену, можно определить, что позволит составить детальное описание всех действий противника.

В общем случае существуют также принципиальные и технические трудности, исключающие возможность определения оптимального курса действий. Так, большая часть военных и экономических конфликтов не является конфликтами интересов в чистой виде, так как предусматривает определенное взаимодействие с противником. Сама теория игр в принципе разработана только

для частного случая игры двух противников с противоположными интересами. Но и здесь большая часть реальных конфликтов не поддается исчерпывающему анализу из-за множества факторов, сказывающихся на действиях сторон, и громадного объема вычислений.

Только очень немногие задачи анализа систем будут настолько просты, чтобы можно было рассчитать их по методу теории игр, да и те имеют лишь отдаленное сходство с реальной действительностью. Однако последние достижения теоретиков дают надежду на скорое изменение положения. Теория игр теперь с успехом используется в решении ряда таких тактических задач, как радиолокационный поиск и обнаружение целей, распределение средств обороны по целям различной ценности, исследование средств прорыва ракет через оборону противника, планирование ракетного удара с учетом противодействия противника, и ряда других задач от проблем противолодочной обороны до наблюдения за соглашением о контроле над оружием.

В отличие от линейного программирования, которым широко пользуются для решения многих классов задач, методы теории игр для решения прикладных задач используются редко. Однако, как уже было сказано, теория игр оказала несравненно большую помощь в анализе политических проблем тем, что подсказывает логику действий в конфликте с разумным противником, имеющим с нами как общие, так и противоположные интересы.

Д. Вильяме в книге «Совершенный стратег» писал так: «Теория игр, несмотря на ее ограничения, имеет в настоящее время приложения. Однако основная заслуга теории игр в том, что она дала ориентацию людям, которые сталкиваются с крайне запутанными проблемами. И хотя теория игр не дает строгого решения этих проблем, по крайней мере в настоящее время, и, вероятно, не будет давать его в течение неопределенного срока в будущем, тем не менее она указывает основу и направление усилий, предназначенных для их решения. Понятие стратегий, различие между игроками, роль случайных событий, матричное представление платежей, понятие о чистых и смешанных стратегиях и т.д. дают полезную ориентацию людям, которым приходится иметь дело со сложными конфликтными ситуациями».

13.4. Электронно-вычислительные машины

Быстродействующие электронно-вычислительные машины часто рассматривают как современное средство принятия решения. Многие верят, что для решения трудных проблем достаточно иметь большую ЭВМ, которая наверняка решит любую задачу. На деле это не так — ЭВМ сами военных проблем не решают. Все, что они могут делать,— это исполнять команды, введенные в них математиком. Машина — это только подсобное средство; она может делать только то, что ей предписано. Качество решений, достигнутых с помощью ЭВМ, полностью определяется человеком, который ставит задачу, формулирует цель и выбирает критерии оценки путей ее достижения.

В следующей главе будут рассмотрены вопросы использования ЭВМ, показаны их достоинства и ограничения. Три из этих ограничений особенно важны для анализа систем национальной безопасности. Первое заключается в том, что многие факторы, имеющие величайшее значение в планировании военной политики (лояльность и моральный дух населения, устойчивость социальной системы, стойкость союзников и пр.) почти невозможно выразить количественно. Даже самые совершенные образцы быстродействующих ЭВМ не могут правильно учесть эти факторы. Второе ограничение состоит в том, что расчет на машине часто требует значительного упрощения модели. Это вынуждает комбинировать переменные и опускать существенные детали. На разработку хороших моделей и программ часто требуются годы и труд больших коллективов. Такие модели не только очень дороги, но, что еще более важно, их трудно изменять. Предположения, на которых построена модель, неизбежно приходится корректировать по мере

углубления представления о предмете исследования или изменения факторов национальной безопасности за время разработки модели. Такой процесс обучения, скорее, затрудняется, чем облегчается при расчетах моделей на электронных вычислительных машинах. Это и будет их третьим ограничением.

По самой природе процесса только отдельные из промежуточных этапов расчетов предстают для наблюдателя в видимой форме, а большая их часть скрыта в «черных ящиках» машины. Поэтому получить представление о воздействии одной переменной на другую или о том, какой элемент интуитивной оценки будет критическим, можно только косвенным образом.

Мы ни в коей мере не хотим отрицать важной роли электронно-вычислительных машин как вспомогательного средства при анализе. До их появления нельзя было и думать о практическом использовании многих модных идей и методов математики. Действительно, громадные возможности только что рассмотренных новых вычислительных методов (линейного программирования и метода Монте-Карло) можно реализовать только потому, что появились пригодные для них электронно-вычислительные машины.

Мы обращаемся к математикам не только за помощью в сложных расчетах, но и за их искусством делать такие расчеты ненужными. Талантливый математик способен заменить сложные математические операции упрощенными или свести не поддающееся обработке число рассматриваемых случаев до разумных пределов.

13.5. Роль математики

После такого краткого заявления мы не будем ничего говорить о значении ряда других методов, дополняющих уже упомянутые (динамического программирования, теории массового обслуживания, теории информации). Они опущены сознательно, ибо каждый, кто хочет правильно оценить результат анализа, должен уметь отличать, когда изощренные математические методы служат красивой маскировкой плохой работы, а когда они дают основу отличного исследования. Эти методы опущены не потому, что они якобы чрезвычайно трудны и могут быть понятны только людям с серьезной математической подготовкой. Это не так, ибо для общего понимания возможностей использования трудных математических приемов не требуется специальных знаний. Мы сделали это главным образом потому, что хотели уделить основное внимание не специальной технике анализа (которая, кстати, не является средством преодоления основных трудностей анализа систем), а другому.

Поскольку, говоря о математике, мы назвали только некоторые методы, то, естественно, возникает вопрос о границах их применимости. Корректный ответ сводится к тому, что ими широко пользуются при исследовании частных вопросов, входящих в общую широкую задачу, однако за редким исключением четко ограниченных проблем эти математические методы не могут оказать большой услуги в поиске общих решений.

Тому есть несколько причин. Как понятно из предыдущего, прежде чем использовать средства математики для решения проблем реальной действительности, необходимо иметь количественную модель рассматриваемого процесса. В сложных ситуациях, существующих на уровне государственной политики, только отдельные слагающие общей проблемы можно выразить в виде, когда используются стандартные приемы исследования операций. Здесь общие модели служат только для организации мышления, но не для расчетов по ним.

Другое обстоятельство, объясняющее, почему математические средства не применяются более

широко, заключается, возможно, в их новизне. Приведем по этому поводу обширную цитату из неопубликованной работы Д. Вильямса — члена исследовательского совета корпорации РЭНД:

«Внедрение новых средств — процесс сложный в любой области. Даже в такой молодой и прогрессивной организации, как ВВС США, существует значительная косность в этом вопросе. Я принимал некоторое участие в разработке первых видов ракет. Эта работа показалась легкой по сравнению с усилиями, затраченными на то, чтобы убедить руководителей ВВС в том, что эти экзотические птицы могут летать. Такие же трудности существуют и в науке, где новый метод должен пройти суровые испытания «огнем и водой».

Вот как это происходит. Некто выдвинул новую идею; если она действительно нова, то, следовательно, непривычна и, вероятно, будет противоречить некоторым вашим прежним сведениям или предрассудкам. Также весьма вероятно, что ее справедливость не будет для вас очевидной (иначе бы вы сами ее предложили). Еще более вероятно, что она ошибочна; вам хорошо известно, как это бывает,— многие идеи рождаются, расцветают в лаборатории и умирают в лаборатории в течение 20 *мин.* Что же вы, как разумный человек, можете сделать? Игнорировать новую идею, постараться уничтожить ее или идти по мучительному пути понимания? День, когда вы решитесь сделать последнее, будет тяжелым днем. Совершенно не случайно, что первую работу Эйнштейна не принял журнал Nature («Природа») — ведущий научный журнал того времени.

Полезным примером того, как в науку входят новые абстрактные методы анализа, может быть история внедрения дифференциального исчисления. Создав его, Ньютон совершил переворот в механике. Неожиданно удалось ему кратко с единых позиций объяснить практически все известные тогда явления и показать, что они служат логическим следствием немногих причин. Но была небольшая трудность: натурфилософы того времени — астрономы, физики, математики — плохо представляли себе особенности дифференциального исчисления, не желали его осваивать и, более того, были убеждены, что оно основано на недоразумении.

Действительно, его строгое обоснование потребовало труда нескольких поколений ученых, и все еще по сей день остаются одно или два неясных положения. Ньютон преодолел трудности взаимопонимания тем, что вывел заново свои результаты с помощью ведущего научного метода того времени — геометрии. Мы же теперь совсем мало пользуемся геометрией. Основной труд Ньютона «Принципы» почти недоступен нашему пониманию. Но дифференциальное исчисление прошло с тех пор полный курс развития. Вряд ли в нашей организации (РЭНД) есть хоть один физик или инженер, не знающий его. Я даже думаю, что немногие из них знают формальные правила грамматики столь твердо, как правила дифференциального исчисления.

Другим интересным историческим примером является предмет, известный теперь под названием математической статистики. Гаусс развил мощную систему, известную как теория ошибок. Она была основой физических наук на протяжении поколений. Это почти идеальное средство анализа экспериментальных данных, которые либо в своей основе просты, либо получены в столь строгих условиях, что неконтролируемые факторы легко поддаются учету. Физики и астрономы жили в этом раю сотню лет, и их счастье было почти идеальным. В то же время другие ученые были очень несчастливы. К ним относились агрономы, которые всегда страдали от множества случайных переменных. Вариации почвенных и климатических условий чаще всего не поддаются контролю, число возможных сочетаний семян и удобрений (изменяющихся как по составу, так и по количеству) очень велико. На протяжении последних 25 лет развивались новые мощные средства анализа, и теперь экспериментаторы в агротехнике перестали быть самыми несчастными людьми на земле. Что думают физики и астрономы о таких новых дисциплинах, как анализ переменных

или проектирование эксперимента? Ничего не думают.

Они очень занятые люди, и гауссова статистика всегда служила им очень хорошо. Я готов спорить, что если бы потребовалась помощь в постановке и оценке результатов эксперимента, скажем, бомбометания, то многие из вас были бы склонны обратиться на физические факультеты университетов, а не на опытную агротехническую станцию. Четверть века назад вы были бы правы, но теперь это будет серьезной ошибкой.

Какое место занимаем мы, работники корпорации РЭНД, в развитии современных абстрактных методов? Здесь мы, как организация, проявляем высокую активность. Это означает, что мы предоставляем людям, склонным к абстрактному мышлению, полную свободу действий. Эти люди создают массу новых материалов, часть которых, вероятно, выдержит проверку временем, а другие будут использованы для создания еще лучших работ. Часть созданного ими и другими войдет в арсенал наших средств, и, хотя мы имели некоторые успехи, нам предстоит еще Долгий путь».

Как самостоятельная дисциплина анализ систем и исследование операций возникли совсем недавно. Об этом один специалист по военному анализу сказал так: «Мое впечатление таково, что искусство анализа систем находится сейчас примерно на том же уровне, что медицина во второй половине XIX века,— мы приносим в среднем больше пользы, чем вреда. Заключить отсюда, что не следует развивать и использовать анализ систем, будет не более разумным, чем заключить, что мы не должны развивать и использовать медицину» .

Многие, находясь под воздействием успехов, которые математические и физические методы принесли техническим наукам, склонны требовать от исследования операций такого же совершенства и таких же успехов. Успехи *были* удивительными. Было получено много ценных результатов и еще лучших можно ожидать. Однако до желаемого совершенства еще далеко, ибо здесь нужно нечто большее, чем только математика.

Некоторые ее средства очень хороши для решения многих задач, часть из которых мы упоминали в данной главе. Однако многие фундаментальные исследования еще впереди. Еще предстоит создать, например, алгоритмы решения частных проблем, прежде чем новые мощные методы заменят простейшие виды математических средств (вероятностные и статистические методы, вычисления и геометрические построения) в качестве рабочего средства исследования операций и анализа систем.

14. ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН

Поль Армер

Я хочу рассмотреть вопрос использования вычислительных машин в анализе систем, а не их конструктивные особенности. Большинство сделанных в этой главе замечаний относится к электронно-цифровым вычислительным машинам, а не к аналоговым; различие между ними следующее. В аналоговой вычислительной машине числа представляются физическими величинами, которые используются в работе машины. Простейшим примером аналогового вычислительного устройства является логарифмическая линейка, на которой числа изображаются расстояниями, результаты вычислений можно прочесть, измеряя расстояния на линейке. В цифровых машинах число представляется дискретным состоянием некоторой физической величины; для этого используются такие элементы, как зубчатые колеса, двухпозиционные переключатели, реле и т.д. Простыми примерами цифровых вычислительных устройств являются пришедшие из древности

счеты и настольный арифмометр.

По-видимому, лучшим основанием для дальнейшего изложения может служить следующая история. Несколько лет назад те, кто пользовался вычислительными машинами, разделились во мнении относительно достоинств некоего численного метода. На конференции в ассоциации пользователей однажды развернулась оживленная дискуссия по этому поводу, в ходе которой один из противников этого метода воскликнул: «Ваш метод опасен, вы играете с огнем». На это получил ответ: «Человек начал играть с огнем еще в каменном веке, не начни он, мы бы из этого века не вышли».

Вывод очевиден: человек может пользоваться огнем, но должен постоянно помнить об опасности ожога. Разумно запастись огнетушителем. К сожалению, вычислительные машины коварны так же, как и огонь, но причиняемый ими ожог не вызывает немедленную боль.

14.1. Преимущества вычислительных машин

Каковы основные свойства вычислительных машин? Они обладают быстродействием и надежностью и с их помощью можно дешево получить результаты, как только задача подготовлена для ввода в машину. Однако все познается в сравнении. Мы сравним работу вычислительной машины и человека при решении *одной и той же задачи.* Чтобы показать характерные свойства машины, мы рассмотрим задачу, с которой вычислительная машина справляется блестяще: расчет траектории ракеты.

В 1949 г. корпорация РЭНД получила новую электронную вычислительную машину. Одной из первых ее задач был расчет траектории ракеты. Прежде чем готовить задачу Для ввода в машину, руководитель темы дал задание просчитать три варианта вручную. Для расчета каждого варианта на настольных счетных машинах потребовался полугодовой труд двух человек, который по ценам тех дней обошелся приблизительно в 5000 долл. Расчет каждого варианта на ЭВМ занял около трех часов; стоимость такого расчета, включая оплату за пользование машиной и труд оператора, была меньше 100 долл. Выигрыш по времени был, тем самым, более 600 раз и по стоимости примерно в 50 раз. (Отладка решения задачи на машине заняла около двух недель и обошлась примерно в 500 долл.) Самое поразительное, по-видимому, состояло в том, что, когда был проведен повторный расчет на машине вариантов, просчитанных вручную, тогда в каждом из них были обнаружены ошибки, хотя расчетчицы постоянно проверяли друг друга.

То было много лет назад. С тех. пор вычислительная техника резко двинулась вперед. Современная вычислительная машина корпорации РЭНД проделала бы ту же работу примерно за полсекунды при затратах, меньших 25 центов на вариант. По сегодняшним понятиям это тривиальная проблема.

Мы не будем рассматривать другие преимущества вычислительных машин — их быстродействие, надежность и экономичность. Они были разрекламированы столь широко, что возникла тенденция переоценивать возможности вычислительных машин. То обстоятельство, что вычислительная машина может просуммировать столбец чисел высотой с небоскреб за четыре секунды при расходах в 20 центов, может представлять академический интерес для исследователя или для руководителя, решение которого тот готовит, *но по-настоящему, в сущности, оба они хотят знать, что может и что не может вычислительная машина сделать для них.*

Подведем итог всему сказанному о быстродействии, расходах и надежности посредством

табл. 14.1.

Таблица 14.1 — Сравнение быстродействия, стоимости и надежности

Методы		Расходы в долларах		Время и стоимость отладки[1]
Вручную (1949 г.)	6 мес.	5000,0	$1/10^3$	-
	3 часа	100,0	$1/10^5$	Две недели; 500 долл.
	1 мин.	5,0	$1/10^9$	Два дня; 300 долл.
	0,5 сек.	0,25	$1/10^{12}$	Один день; 200 долл.
	0,005 сек.	0,01	$1/10^{16}$	Один день; 100 долл.

Приведенные в таблице предположительные оценки для двух последних столбцов кажутся вполне реальными, хотя при быстродействии, характерном для этих машин, количество операций между двумя ошибками может быть большим, а время работы машины между двумя ошибками не обязательно будет велико.

Вернемся к основному вопросу о полезности машины для исследователя. Это одно из средств в его арсенале, подобно карандашу и листу бумаги или арифмометру. Необходимое условие для использования вычислительной машины состоит в том, чтобы исследователь был способен сформулировать свою задачу (или ее часть) в виде математической модели, но это условие не является достаточным с экономической точки зрения, поскольку, как будет показано ниже, во многих случаях решение задачи на машине бывает невыгодно.

Решение задач на вычислительных машинах, несомненно, обладает определенными достоинствами. Используя преимущества машин по быстродействию и стоимости, можно, очевидно, с их помощью рассмотреть больше вариантов, чем при ручном счете. На практике обычно этими факторами пользуются, не просто рассчитывая для одной и той же модели большее количество вариантов, чем вручную, а делая модель более сложной. Покажем это на примере. Несколько лет назад одна организация получила новую вычислительную машину — головной образец новой серии. Конечно, всех потребителей вычислительных машин интересовало, насколько быстрее работает новая машина по сравнению со старой. Когда этот вопрос был задан на одном совещании, глава организации сообщил, что на новой и на старой машине была решена одна и та же физическая проблема. Расчет одного варианта на старой машине потребовал одного часа, на новой машине — трех часов. Он объяснил недоуменным слушателям, что новая машина позволила рассмотреть гораздо более сложную модель.

Вывод в том, что вычислительная машина дает исследователю возможность рассмотреть проблему более детально, чем позволяют ручные методы. Более сложная модель дает возможность проводить общую оптимизацию в более широких пределах и избежать необходимости в субоптимизации при условии, конечно, что исследователь сможет построить необходимую для этого более сложную модель.

Вычислительная машина позволяет исследователю проверять чувствительность его моделей. Одна

из самых важных особенностей использования вычислительных машин состоит в том, что она дает возможность сравнительно просто ответить на многочисленные вопросы типа: «А что, если…?»

Быстродействие и дешевизна расчетов на вычислительных машинах позволят вместо обычных методов расчетов вероятностных величин использовать мощный метод Монте-Карло; суть различий между этими методами была рассмотрена в гл. 4. Существуют также такие проблемы, требующие анализа или обработки информации, решение которых без вычислительной машины практически невозможно.

14.2. Недостатки вычислительных машин

Существуют задачи, для решения которых вычислительные машины применять невыгодно, хотя математическая модель может быть построена. Чтобы найти решение любой, даже самой малой задачи, требуется некоторое время и средства на ее подготовку для ввода в машину. Для небольших моделей, если требуется рассчитать относительно малое количество вариантов, иногда бывает быстрее и дешевле сделать это вручную. Исследователь может иногда полагать, что, делая расчеты вручную, он поймет сущность процессов и сможет лучше контролировать их. Даже для средних моделей, где требуется рассчитать немногие варианты, бывает дешевле сделать это вручную, чем идти на расходы, связанные с отладкой программы для вычислительной машины. Однако по мере увеличения размеров и сложности модели может быть достигнуто такое положение, когда единственную возможность расчета хотя бы одного варианта представляет вычислительная машина; произвести его вручную в приемлемые сроки просто невозможно.

Существует также класс проблем, решать которые на машинах экономически невыгодно. Машина по своей природе требует, чтобы входные данные для нее были представлены в необходимом виде, например, пробиты на перфокартах или написаны на магнитной ленте. В тех случаях, когда объем входных данных сравнительно невелик, проще и дешевле провести расчет вручную, ибо для ввода их в машину могут требоваться большие затраты для подготовки данных.

Основные проблемы использования методов игр и моделирования в анализе сводятся к тому, что сам человек является элементом системы «человек — машина». Это означает, что имеется цикл, состоящий из работы человека, работы машины, работы человека, работы машины и т.д. Если бы мы были в состоянии построить математическую модель работы, проделываемой человеком, то можно было бы, конечно, автоматизировать весь цикл. Однако такая автоматизация возможна только в редких случаях. Возможность автоматизации почти всегда зависит от количества данных, вводимых в машину, и объема необходимой для этого работы. Можно заметить попутно, что для проблем этого класса иногда оказываются очень полезными аналоговые вычислительные машины.

14.3. Программирование модели

Как было указано, успешное использование вычислительных машин в анализе тесно связано с созданием математической модели. Если для данной проблемы или хотя бы для ее части нельзя построить модель, то вычислительная машина бесполезна. *Вычислительная машина при современном понимании того, как она может быть использована, не может помочь решению проблемы, которую теоретически нельзя решить без ее помощи.*

Вычислительная машина не является универсальным средством. То, что в данном исследовании использовалась вычислительная машина, не является гарантией его качества. Достоверность результата не выше достоверности модели, с которой работала вычислительная машина. Часто,

к сожалению, результаты исследований кажутся заслуживающими доверия только потому, что они получены на вычислительной машине.

Факт использования в анализе вычислительной машины *может* свидетельствовать о том, что проблема была изучена детально и были рассмотрены разнообразные возможности. Но он ничего не говорит о качестве этого исследования.

Модели, их преимущества и скрытые в них опасности не являются предметом обсуждения в настоящей главе, но они настолько тесно связаны с использованием вычислительных машин для осуществления их работы, что разделить эти два предмета полностью нельзя. Остановимся вкратце на опасностях моделей. Модель воздушной войны может быть справедлива, например, только при условии, что участвующие в ней самолеты имеют дозвуковую скорость. Другими словами, те уравнения модели, в которые входит скорость полета, могут давать бессмысленные результаты, если в воздушных операциях принимают участие сверхзвуковые самолеты. Создатель модели мог вполне быть осведомлен об этом в свое время и не обращать на это внимания, потому что его интересовал только случай с дозвуковой скоростью. Этот пример указывает на одну из опасностей при использовании модели не по первоначальному назначению; модель, ценная для одного исследователя, может оказаться ловушкой для другого.

Даже в тех случаях, когда математическая модель создана с расчетом охватить самый общий случай, отработка этой модели на вычислительной машине может повести к некоторой потере общности. Например, программист, составляя программу для решения задачи о воздушной войне, может для большей эффективности составить программу так, чтобы в ней учитывался только случай дозвуковых скоростей, зная, что именно этот случай представляет интерес для создателя модели. При повторном использовании этой программы исследователь может упустить из виду то, что она была составлена только для частного случая. Так случилось однажды в корпорации РЭНД, когда мы захотели применить программу статистических испытаний, разработанную другой организацией. Хотя модель статистических испытаний допускает действия с неограниченным количеством данных, эта программа была составлена так, что машина учитывала только первые двадцать единиц статистической информации, а все остальные данные исключались.

Дело в том, что в программу для вычислительной машины может быть включено больше допущений, чем в саму модель. По этому поводу следует сделать дополнительное замечание. Допущения имеют место во всех моделях, но вычислительные машины дают возможность использования более сложных моделей, чем при расчетах вручную. Однако не следует обольщаться: и сложные модели включают Допущения, но там они сделаны на ином уровне детализации проблемы. Детализация может быть полезной, но не следует забывать, что допущения и здесь имеют место. Однако на некоторых людей детальность расчетов оказывает почти гипнотическое действие.

К проблеме построения модели примыкает смежная проблема подготовки программы для вычислительной машины, которая автоматизирует расчет модели. Конечно, оба эти процесса обычно идут параллельно. Однако для того чтобы сосредоточить наше внимание на задаче составления программы, предположим пока, что модель построена и отлажена. После этого программисты должны безупречно записать команды, с помощью которых модель вводится в машину. Важно уметь оценить объем нужной для этого работы, ибо человек склонен к недооценке затрат времени, необходимого для полного цикла, состоящего из постановки проблемы, программирования, проведения расчетов на машине, анализа результатов, вывода заключений и принятия решений. Мы заговорили об этой склонности потому, что даже опытные программисты зачастую излишне опти-

мистично оценивают время, требуемое для программирования той или иной задачи.

Вычислительную машину часто сравнивают с гигантским мозгом, приписывая ей многосторонний ум. В действительности вычислительная машина способна производить лишь ограниченное количество основных операций она может складывать, вычитать, умножать, делить и сравнивать числа, принимать входные данные и выдавать результаты. Некоторые вычислительные машины могут производить и другие операции, являющиеся вариациями перечисленных, но их возможности строго ограничены. Чтобы воспользоваться вычислительной машиной, нужно написать набор команд, называемый программой, что является задачей программиста. Типичная короткая программа приведена на рис. 14.1. В этом случае в вычислительной машине хранится некоторое число, и мы хотим извлечь из него квадратный корень. Мы не будем разбирать этот пример; он только показывает, что должен написать программист, чтобы заставить машину сделать что-то относительно простое.

На практике программы, подобные программе извлечения квадратного корня, которые, очевидно, необходимы программистам для решения многих задач, пишутся только один раз и затем включаются в библиотеку стандартных программ, откуда они могут быть извлечены программистом при необходимости. Это, в общем-то, тривиальное положение иллюстрирует тот факт, что большая часть программ составляется из подпрограмм.

При составлении набора команд программист должен сделать нечто большее, чем только дать машине команду на выполнение необходимых вычислений. Чтобы согласовать подпрограммы и добиться их совместной работы, необходимо произвести дополнительные действия; следует также каким-то образом ввести в машину исходные данные и вывести из нее результаты работы. Необходимо предусмотреть возобновление счета при сбое в работе машины, чтобы сбой не вел к потере всех полученных до того результатов. Необходимо также обеспечить контроль над результатами вычислений. Допустим, например, что программистом была допущена ошибка в постановке задачи для расчета траектории ракеты на настольной счетной машине. Через некоторое время он приходит и спрашивает: «В момент времени, равный 27 секундам, тяга становится отрицательной — может ли это быть?» Сама вычислительная машина дать ответа на такой вопрос не может, и результаты всей работы будут поставлены под сомнение, поскольку известно, что что-то неправильно, но что именно, не известно. Кроме того, наличие ошибки в постановке задачи может и не быть столь очевидным, если ошибка в окончательном результате не превысит, например, 20%. Поэтому программист, составляя программу, должен располагать определенными средствами контроля результатов вычислений.

Он должен составить свою программу таким образом, чтобы машина подавала сигнал, если результат расчета указывает на невозможное событие, например, если тяга становится меньше нуля. В программе извлечения квадратного корня аварийный сигнал подается, если число, из которого мы хотим извлечь квадратный корень, отрицательно. На практике над вычислениями, производимыми машиной, невозможно осуществить такой же строгий контроль, как над вычислениями, производимыми вручную. Однако в программу для вычислительной машины иногда можно ввести сложную систему проверок, которая потребовала бы слишком много труда, если ее выполнять вручную.

Занимаясь проблемой контроля результатов вычислений, программист вынужден ставить вопросы по существу проблемы. Они часто вскрывают упущения в разработке модели и еще раз подчеркивают тесную связь между построением модели и ее программированием. Программист, завершив работы над моделью, потребует внесения в нее многочисленных изменений, и он затратит значительное время на попытку облегчить введение этих изменений. Как показывает опыт,

неудачи в подобных попытках объясняются, как правило, не тем, что программист плохо выполняет свои обязанности, а тем, что предугадать заранее существо этих изменений и их воздействие на модель очень трудно. Изменения в программе почти всегда требуют от программиста труда, непропорционального размерам этих изменений.

Составляя программу, программист старается предвидеть вопросы типа «А что, если...?», которые могут быть заданы модели, и предусмотреть возможность ответа на большинство подобных вопросов. Однако жизнь сложна, и могут возникнуть вопросы, ответить на которые удастся только путем коренной переделки программы.

После того как программист напишет набор команд, и они будут перфорированы для ввода в машину, начинается длительный процесс отладки программы. Обычно он делает это, проверяя работу каждой подпрограммы отдельно. Для этого часто приходится писать другие, отладочные программы, позволяющие произвести проверку различных подпрограмм. Затем он проверяет их совместную работу и, в конце концов, доводит программу до работоспособного состояния. Мы говорили о программисте в единственном числе, но на самом деле имели в виду целый коллектив программистов, так как в программировании сложной задачи занят целый коллектив людей, каждый из которых составляет свои подпрограммы, объединяемые впоследствии в окончательную программу.

Мы не упомянули еще об одном из более ранних этапов программирования — составлении блок-схемы программы. Она дает общий ход решения задачи и указывает последовательность действий при программировании. Типичная блок-схема приведена на рис. 14.2. Интересно заметить, что программисты редко пользуются такими аккуратными схемами.

Размеры полных программ для вычислительных машин могут изменяться от нескольких сотен команд до нескольких сотен тысяч. Производительность труда при программировании изменяется в широких пределах — от одной или двух команд, написанных и проверенных за один день, до нескольких сотен команд в день. Стоимость одной написанной и проверенной команды изменяется в соответствии с этим примерно от 0,5 долл. до 20 долл. Однако обычно стоимость одной команды лежит в пределах от 1 до 5 долл. Поэтому стоимость больших программ может быть очень велика. Это не противоречит высказанному ранее утверждению о том, что одним из основных положительных свойств вычислительных машин является способность выдавать результаты за недорогую цену. Напомним, что, сравнивая возможности вычислительных машин и человека, мы утверждали, что машины дают результаты за меньшую цену, чем люди, лишь *после того,* как составлена программа для машины. Следует также различать стоимость программирования и стоимость работы машины, производящей расчеты по составленной программе. Попутно целесообразно заметить, что относительная дешевизна единичного расчета вводит исследователя в соблазн производить все новые и новые расчеты, и в этом случае полная стоимость может быть очень велика. Он может также переоценить свои возможности при обработке результатов и окажется неспособным справиться с полученным ворохом бумаги.

14.4. Постановка задачи

Я попытался показать затраты труда на программирование, неотделимое от использования вычислительных машин, но мало сказал о затратах труда на разработку модели или вообще на постановку задачи. Хотя разработка моделей не является предметом обсуждения в этой главе, мы хотели бы рассмотреть проблему постановки задачи при таком использовании вычислительных

машин, при котором не предусматривается применение модели в обычном значении этого понятия.

Постановка задачи обычно настолько переплетена с программированием, что их часто рассматривают как единое целое. Объем необходимой для этого работы постоянно недооценивают, и недооценивают очень существенно даже тогда, когда задача, в сущности, проста. Для того есть много причин. С одной стороны, если программированием занимаются люди, знакомые с задачей, то они должны уметь программировать. Но обучение требует много времени, и возможно, что они так никогда и не станут квалифицированными программистами. Если же, с другой стороны, программисты займутся постановкой задачи в целом, то им придется изучить задачу, что опять-таки требует времени, и вполне возможно, что они никогда не изучат ее как следует. Если над задачей работает смешанная группа, то возникает проблема общения между ее членами; каждый из специалистов в своей области должен научиться понимать язык другого, а на это требуется еще больше времени.

Метод, при котором программирование выполняют люди, знакомые с задачей, успешно применялся при проведении коммерческих расчетов. Метод, при котором постановка задачи выполняется программистом, совершенно не изучен. Использование смешанных групп весьма широко распространено, и, по-видимому, это наилучший метод. Однако в связи с таким подходом следует сделать одно важное замечание. Если речь идет о больших системах, то очень важно, *чтобы человек, знакомый с задачей, научился понимать язык программиста и получил представление о программировании и ограничениях, присущих машинам.* Если в руках такого человека находится большая и сложная задача, то он не может просто передать ее программисту для решения.

Другая причина недооценки размеров работы, необходимой для использования вычислительной машины в решении новой задачи, заключается в том, что решение задач на вычислительных машинах происходит совершенно иначе, чем при применении старого привычного метода. Консерватизм отдельных лиц и инертность организаций часто затрудняют введение перемен, а иногда делают их невозможными.

Мы считаем, что из всех элементов, из которых слагается эта работа, больше всего трудностей доставляет детальное решение вопроса, какую именно проблему мы собираемся решать. Например, один директор банка, в котором все операции были недавно автоматизированы, сообщил, что 65% труда группы, занимавшейся вопросами обработки данных, ушло на детальное уяснение проблемы, решением которой им предстояло заниматься.

Для уяснения причин большой длительности подготовительного периода приведем несколько примеров.

Самым ярким примером трудностей при использовании машин для бухгалтерского учета, по-видимому, является пример с промышленной фирмой, решившей автоматизировать составление платежных ведомостей. Заработная плата в этой фирме рассчитывалась по прогрессивной системе, с учетом работы, как отдельных работников, так и целых групп, так что платежные ведомости были исключительно сложными. У фирмы были свои собственные специалисты, ряд опытных специалистов был предоставлен в ее распоряжение фирмой-поставщиком вычислительных машин. Для большей надежности прибегли к консультациям специалистов по коммерческим расчетам. Состояние проблемы опасения не вызывало. Однако примерно через два года, после того как было написано несколько сот тысяч команд, все участники работ признали, что она им не под силу. Следует учесть, правда, что данная группа решала эту проблему одной из первых и ей пришлось многому учиться. В наши дни машины хорошо справляются с проверкой инвентарных списков и составлением платежных ведомостей. К сожалению, организации и отдельные лица,

работающие в этой области, не особенно склонны учиться на ошибках других, и подобные случаи неоднократно повторяются.

Второй пример относится к компании городского энергоснабжения. Она избрала более разумный и намеренно медленный подход к проблеме, но масштабы работы были также недооценены. Изучение проблемы началось в 1953 г. Через год компания решила, что приобретение вычислительной машины было бы экономически оправдано, и заказала машину определенного типа. Специалисты немедленно принялись за постановку задачи и программирование. Еще через два с половиной года компания получила машину и начала передавать на машину работу, производившуюся до того людьми. Длительность переходного периода вместо запланированных девяти месяцев составила четырнадцать месяцев. Первоначально предполагалось, что потребуется программа из 30 000 команд. Когда работа была завершена, объем программы составил 42 000 команд, так как были недооценены размеры работы, необходимой для учета в программе отдельных, не часто встречающихся операций; в ходе этого была также установлена необходимость включения в программу различных проверок (упомянутые выше аварийные сигналы). Помимо того, для обеспечения нужд переходного периода пришлось написать еще 20 000 команд. В течение переходного периода были наняты дополнительно новые сотрудники, так как в это время действовали три системы: старая, новая и промежуточная. Чтобы установить вычислительную машину, которая обычно способствует сокращению рабочей силы на предприятии, компании пришлось временно увеличить число сотрудников на 60 человек. В ходе установки машины были произведены изменения в структуре бухгалтерских групп и в характере деятельности компании во многих областях. Таким образом, этот переход привел к существенной реорганизации.

Вывод отсюда следующий: для больших систем затраты труда на подготовку программы для вычислительной машины являются основным *фактором, определяющим длительность ввода вычислительных систем в эксплуатацию.*

14.5. Несогласованность языков программирования

Почему процесс программирования является таким длительным и есть ли какая-либо надежда ускорить его? По-видимому, основная причина состоит в различии между языком вычислительной машины и естественным языком. Как мы видели, для вычислительной машины нужно составить подробную программу ее действий. Очевидно различие между указаниями, которые вы должны дать машине, и указаниями, которые даются человеку, например: «Проинтегрируйте, пожалуйста, эту функцию от нуля до единицы». Кроме того, человек обладает большим запасом информации и здравым смыслом, которые он использует при своей работе. Он знает, например, что тяга ракеты не должна быть отрицательной.

В области сближения языка вычислительной машины с обычным языком достигнут определенный прогресс. Куски программы (рис. 14.1–14.3) не дают понятия о собственно машинном языке, который состоит только из одних цифровых кодов. Команды, написанные на бланке, показанном на рис. 14.1, затем переводятся на язык машины с помощью так называемой транслирующей программы. Такая программа не только переводит обычный язык в цифровые коды, из которых состоит язык машины, а делает гораздо больше.

Например, при использовании машинного языка всегда должно быть известно, в каком месте запоминающего устройства хранится каждое данное число. При использовании транслирующей программы требуется всего лишь присвоить этому числу некоторое наименование (например, Common на рис. 14.1). Каждый раз, когда возникает необходимость, используется это наименование; транслирующая программа снабдит это число конкретным адресом. Транслирующая про-

грамма обладает тем свойством, что каждая команда, написанная на ее языке, переводится в одну команду, написанную на языке машины. Существует другой класс программ, которые совершают перевод с так называемых языков посреди и ков; эти программы могут преобразовывать одну команду или одну фразу этого языка в несколько.машинных команд. Таким путем, очевидно, можно значительно сократить объем работы при программировании.

Языки-посредники существенно отличаются от машинного языка (и более похожи на наш обычный язык, хотя, возможно, и не настолько, насколько нам бы хотелось).

Из этих языков-посредников в настоящее время лучше всего известен ФОРТРАН (FORTRAN от слов FORMULA TRANSLATOR — переводчик формул); существуют транслирующие программы, совершающие перевод с этого языка на язык многих вычислительных машин. Другими хорошо известными языками этого типа являются КОБОЛ и АЛГОЛ. На рис. 14.3 приведен пример программы, написанной на языке ФОРТРАН. В данном конкретном случае транслирующая программа преобразовала 14 фраз, написанных на этом языке, в 113 команд для вычислительной машины.

ФОРТРАН хорошо выполняет свое назначение, состоящее в сокращении труда при программировании, в тех случаях, когда соответствующие проблемы могут быть математизированы. Излишне говорить, что для многих проблем он совершенно непригоден. Существуют, конечно, определенные виды на будущее, но для осуществления новых систем требуется длительный подготовительный период, так же как и при программировании в настоящее время. Все эти системы являются также дорогостоящими; стоимость транслирующей программы с языка ФОРТРАН приблизительно равна 500 000 долл.

14.6. Заключение

Вычислительные машины быстрее, дешевле и надежнее человека *решают задачи, для которых они приспособлены;* это положение только усугубится в будущем. Успешное применение вычислительных машин в анализе тесно связано с созданием математической модели. Мы рассмотрели некоторые опасности, подстерегающие тех, кто пользуется вычислительными машинами; они также тесно связаны с опасностями использования моделей. Было указано на скрытый характер этих опасностей. Мы попытались опровергнуть распространенное мнение о том, будто использование вычислительной машины при исследовании непременно гарантирует достоверность его результатов.

Мы попытались также дать некоторое понятие о размерах работы по программированию, необходимой при использовании вычислительных машин, и указали на постоянную и всеобщую тенденцию недооценивать размеры этой работы. Причиной длительности процесса программирования является, по-видимому, различие языка вычислительной машины и нашего обычного языка. Мы коснулись предпринимаемых попыток разрешить эту языковую проблему.

Обсуждая размеры работы по программированию, мы привели несколько примеров не из области исследовательской работы с моделями, а из области обработки информации в предпринимательской деятельности. В этой области существуют дополнительные причины для увеличения объема работы. Здесь представляет большие трудности, например, определение проблемы, над которой стоит работать, а внедрение вычислительных машин часто влечет за собой изменения в стиле работы и реорганизацию предприятия. Когда опыт перехода от обычных к автоматизированным системам обработки информации отсутствует, то возникает дополнительная проблема, связанная с учетом редко встречающихся в практике случаев и обеспечением контроля результатов

вычисления.

Мы указали на ряд ограничений возможностей использования вычислительных машин потому, что эти возможности часто сильно переоценивают. Вычислительная машина не оракул, она не поможет вам в решении задач, которые недоступны вашему интеллекту.

С другой стороны, нам не хотелось бы, и недооценивать вычислительные машины. В бухгалтерской работе их появление вызвало, чуть ли не настоящую революцию. Использование вычислительных машин вместе с использованием моделей и современного математического аппарата (включая все методы, которые можно объединить под названием «исследование операций») дает исследователю недоступные раньше возможности анализа.

Я намеренно не высказывал предположений о возможности применения вычислительных машин для работы, требующей разума, но не потому, что не верил в такую возможность, а потому, что это дело слишком отдаленного будущего.

В заключение еще раз обратимся к аналогии игры с огнем: вычислительные машины могут быть очень полезны, но обращение с ними требует осторожности.

15.1. Введение

В гл. 6 М. Хоуг показал роль стоимости и анализа систем. В настоящей главе рассмотрены методы оценки стоимости, показано, как их учитывать в подобном анализе.

До начала обсуждения следует сделать некоторые замечания по общим принципам методов оценки стоимости, предназначенных для использования в конкретных случаях анализа систем. Заявление, что выбор метода «зависит от типа задачи», может показаться банальным. Но так оно и есть на самом деле. Более того, методы могут быть различными на разных этапах решения одной и той же задачи. Например, в начале исследования системы, возможно, потребуется рассмотреть широкий спектр альтернатив. Цель будет заключаться в том, чтобы отсеять явно непригодные альтернативы. Для этого требуются методы, позволяющие дать ориентировочную оценку многих вариантов системы, но при самой грубой оценке их стоимости. Здесь необходимы гибкие методы, не требующие больших затрат времени и средств, направленные, скорее, на выявление общей структуры стоимости, чем на точный ее расчет. В дальнейшем, когда для более детального анализа будет отобрано несколько наиболее перспективных вариантов системы, потребуются более точные, а следовательно, и более громоздкие методы оценки стоимости.

Почему при сравнении альтернатив систем оружия или структуры вида сил мы обязаны давать оценку их стоимости? Самый простой ответ заключается в том, что стоимость является тем элементом выбора, пренебречь которым недопустимо. Для разумного выбора одного из предложений необходимо знать его стоимость и иметь возможность сравнивать ее со стоимостью других предложений.

Мы должны знать возможный выигрыш при нашем выборе и сравнивать его с выигрышами, возможными при других вариантах. Разумное сравнение стоимости и результата действий имеет в военных решениях не менее важное значение, чем в управлении государством или промышленным предприятием. Важность достоверной оценки стоимости оружия и обеспечивающих систем возрастает не только потому, что предположения о создании новых систем бывают часто связаны с большими затратами и требуют существенной доли национальных ресурсов, но также и потому, что обычно существует не одна, а несколько конкурирующих систем, также заслужива-