

Обеспечение экономической надежности развития и функционирования транспортных систем

5.1. Экономическая надежность в развитии и функционировании систем

В настоящее время в исследованиях функционирования и развития экономических систем активно используются такие категории, как механизм, устойчивость, надежность, гибкость, маневренность (экономическая), обратная связь, чувствительность, живучесть, адаптивность, структура (принимаемого решения), равновесие и т.д. Эти категории относят к системным свойствам того ли иного экономического объекта, региона и т.д. Некоторые из этих понятий и свойств находят непосредственное применение в механизмах управления экономическими системами. Прежде чем говорить о правомочности применения данного понятийного аппарата в исследованиях функционирования и развития экономических систем необходимо определить его место в механизмах управления экономическими системами.

В самом общем виде система определяется как множество, или совокупность, закономерно связанных друг с другом предметов, явлений, знаний о природе и обществе [20, 24, 54, 57, 108, 109, 125].

Однако само понятие системы до сих пор обсуждается. Так, например, в работе В.Н. Садовского «Основания общей теории систем» приводится более 30 определений, данных разными авторами [108, с. 93–99]. В своей работе «Системный подход и общая теория систем» А.И. Уемов на основе анализа различных определений системы предложил определить систему в виде формулы:

$$S = [\{a\}R]P, \quad (5.1)$$

где $\{a\}$ – множество элементов системы, представленных в виде матрицы;

R – системные отношения между элементами множества;

P – системные свойства, проявляющиеся в результате различных системных отношений [125, с. 82].

Отсюда система – это множество связанных между собой элементов той или иной природы, упорядоченное по отношениям и обладающее вполне определенными свойствами. Составляющие системы:

- элементы – объекты, части, компоненты, число которых ограничено;
- свойства – качества элементов, выраженные в определенных величинах и дающие возможность количественного описания системы;
- связи – это то, что соединяет элементы и свойства системы в целое;
- структура системы, которая отражает наиболее существенные и устойчивые связи между элементами и их группами, обеспечивающими основные свойства системы.

Многие как западные, так и отечественные специалисты рассматривают экономические системы как совокупности взаимосвязанных и взаимообусловленных элементов, ориентированных на реализацию заданной целевой установки и имеющих способность интенсивного расширенного воспроизводства за счет собственных ресурсов [60].

На протяжении последних десятилетий экономическое развитие идет по пути усложнения организационно-правовых и технологических систем, отсюда сложная система, по определению, состоит из достаточно большого числа взаимодействующих элементов.

Любая реальная экономическая система (вся национальная экономика, совокупность предприятий отрасли, региональная система предприятий, финансово-промышленная группа, предприятие и др.), являясь сложной многоэтапной системой, состоит из элементов – экономически и технологически связанных подсистем. При этом продукция каждой подсистемы выступает либо конечным продуктом всей системы, либо служит ресурсом для других ее подсистем.

Изучать экономическую систему необходимо в движении, целостности, развитии, единстве и противоречии ее структурных элементов. Важнейшее значение при этом имеет отслеживание динамики ее основных системных свойств, которые характеризуют, с одной стороны, собственный потенциал экономической системы, с другой – отражают ее отношения с внешней средой [29, 30, 31].

К первой группе системных свойств можно отнести такие свойства, как самоорганизация, самопланирование, саморегулирование и др. [60]. Ко второй группе свойств можно отнести такие свойства, как надежность, эффективность, целостность, гибкость, синхронность, адаптивность, маневренность, эластичность, живучесть, инерционность, обратимость и др. [29, 30, 31, 111].

Чтобы определить различие между системой и абстрактно понимаемым множеством элементов, согласно определению системы, требуется еще установить связи между ее элементами и принципы их взаимодействия. Сами связи и взаимодействия, в свою очередь, требуют конкретного «доопределения» при практическом использовании системного подхода в изучении того или иного сложного объекта.

Таким образом, определение системы невозможно без характеристики взаимозвязей экономических явлений, объединенных в определенные группы. Данная зависимость играет также важную роль в концепции экономических механизмов.

Среди механизмов, действующих в экономике, особо выделяются механизмы функционирования и развития экономических систем. Некоторые специалисты называют экономические системы (отрасли, объединения, предприятия, фирмы и т.д.) организационными системами. Практика хозяйствования приводит экономистов к понятиям «активный элемент» и «активная система» [26].

Специалистами по теории активных систем разработан единый подход к управлению организационными системами на основе понятия механизма их функционирования [25]. Под механизмами функционирования таких систем авторы понимают применяемые в них процедуры формирования информации для управления, методы формирования управляющих параметров (планов, цен, нормативов), методы финансового управления и экономического стимулирования, административные и финансовые ограничения на деятельность организаций и их подразделений, методы оперативного управления – в общем, набор организационных, правовых, экономических, финансовых правил, регламентирующих функционирование организации в экономике и производстве [26].

Задачи, возникающие в управлении функционированием и развитием организационных систем, необходимо делить на задачи анализа и задачи синтеза. Задачи анализа связаны с исследованием свойств заданного механизма или множества механизмов функционирования, а задачи синтеза – с построением механизмов функционирования и развития, обладающих нужными свойствами.

В решении этих задач используется ряд методов: наблюдение за функционированием реальных субъектов хозяйствования, экспериментальное апробирование на них или иных предложений, моделирование и др.

Основными задачами анализа функционирования системы являются задачи выбора и определения показателей, характеризующих это функционирование. Обычно

для такой оценки применяется целый ряд показателей, число и набор которых зависит от целей исследования и удобств их использования. Этот набор должен отражать «существенно важные» стороны функционирования системы и в нем обязательно должны присутствовать показатели, которые можно назвать критериями эффективности механизма функционирования.

Задача синтеза механизмов функционирования заключается в построении механизмов, удовлетворяющих заданным условиям, формулировка которых требует учета большого количества факторов, определяемых как самой системой, так и внешней средой. В качестве условий могут быть реализуемость механизмов, требование выполнения планов, обеспечение заданного уровня эффективности функционирования системы, ограничения на стоимость процесса управления и др.

Надо сказать, что до сих пор управление сложными экономическими системами в российской экономической практике осуществляется исходя из детерминированных представлений как о самих системах, так и об окружающей их среде. Это вызвано, на наш взгляд, тем, что объект функционирует и развивается, как правило, по единственной траектории, которую можно информационно «пощупать» по отчетным данным, по техническим результатам, эффекту и т.д. [31, с. 14].

Однако признание фактора объективной неопределенности в учете будущих условий развития и функционирования сложной системы требует создания адекватного механизма управления. Для этого могут быть взяты опыт и инструментарий управления техническими системами в условиях неопределенности. Однако экономические системы имеют свою специфику, прежде всего благодаря большому влиянию субъективных факторов в управлении ими. Учет субъективных факторов в стратегическом менеджменте больше касается политических инструментов управления, которые, как известно, являются больше искусством, чем наукой. Но и здесь в определенной мере могут быть разработаны методы учета неопределенности, вызванной такими субъективными факторами, как активность взаимодействия системы и среды [31, с. 15].

Понятие системы неразрывно связано с понятием среды, из которой она выделяется; для экономических систем это национальная экономика в целом с ее разнообразными ресурсами, отрасль, регион. Способ выделения системы из среды в значительной мере предопределяется целями и тенденциями развития экономических отношений. Выделение экономической системы из среды на практике имеет целевой характер, закрепляющийся всевозможными формами и положениями (юридическими, информационными, технологическими и т.д.), регламентирующими взаимосвязи элементов системы и отношения системы и среды [31].

Тот или иной аспект вышеназванного выделения обусловлен необходимостью наилучшим образом «транслировать» требования, которые среда ставит перед системой для достижения своих целей. Через трансляцию этих требований проявляется взаимодействие среды с системой. Взаимодействие же элементов внутри системы определяется той степенью свободы, которую оставляет среда системе при ее выделении.

Примером свободы может служить самостоятельность предприятий при установлении хозяйственных связей в процессе реализации продукции, самостоятельность в области ценовой и инвестиционной политики, в области завоевания рынков и т.д. Однако под воздействием среды эти связи могут быть изменены или даже отменены, если окажутся или будут сочтены нерациональными или противоречащими целям развития среды.

Экономика требует динамичного пропорционального развития всех ее звеньев и связей между ними. Появление в последнее десятилетие в России огромного числа нетрадиционных, можно сказать трансцендентных, технологий производства продукции, об-

работки экономической информации, принципиально новых видов материалов, освоение считавшихся ранее недоступными районов, возникновение абсолютно новых экономических отношений и т.д. существенно меняют язык принятия экономических решений.

В принятии решений по развитию и функционированию экономических систем становится необходимым использование новых, считавшихся ранее неэкономическими, терминов. К таковым можно отнести: надежность плана, резервирование (не только тактическое, в виде запасов, но и стратегическое), экономический маневр, адаптивность, гибкость, маневренность, эластичность, живучесть, инерционность, обратимость и т.д. Названные категории, характеризующие системные свойства, расширяют круг рычагов и методов механизмов управления развитием и функционированием экономической системы, механизмов взаимодействия системы и среды и элементов внутри системы.

Все эти новые элементы экономического языка должны найти строгое формальное, количественное отображение в задании схем и правил их взаимодействия с традиционными понятиями экономики в многоуровневых процедурах принятия решений [111, с. 19].

Взаимодействие экономической системы и среды практически не бывает абсолютно определенным, всегда в этом взаимодействии проявляются факторы, по тем или иным причинам не учтенные или считавшиеся несущественными на стадии принятия решения. В результате в ходе реализации принятого решения приходится корректировать эти решения. Сама же корректировка протекает тем легче и эффективнее, чем в большей степени были учтены возможные (вероятные) отклонения параметров принимаемого решения.

Типичным способом учета возможных отклонений является создание всевозможных резервов, включая запасы ресурсов или продукции, финансовые резервы, резервы структурных связей в системе и т.д. На самом деле резервы создаются для того, чтобы обеспечить высокое качество или надежность принимаемого решения. Отсюда возникает целая серия задач по измерению надежности и риска принимаемых решений (риск и надежность – взаимно дополняющие понятия). Проблемы риска и управления риском формально можно свести к оценке и управлению надежностью принимаемых решений в экономических системах.

К настоящему времени в экономической науке разработан методический аппарат по оценке надежности экономических решений, управлению ею. Существенные результаты по управлению надежностью принимаемых решений в экономических системах различных отраслей национальной экономики получили такие ученые, как И.И. Еремин, Л.А. Мелентьев, А.А. Макаров, Б.Г. Санеев, В.А. Смирнов, В.Г. Соколов.

Принятие решений в экономических системах всегда сопровождается неопределенностью информации. Неопределенность растет с расширением горизонта планирования экономической деятельности, детализацией параметров принимаемого решения, включением в систему новых технологий, появлением активизирующих весь экономический цикл факторов.

Неопределенность информации может проявляться по-разному, но в конечном счете это отклонение фактических параметров принимаемого решения от проектируемых. В итоге неопределенность информации сказывается на надежности принимаемого решения (степени достижения конечных целей).

На степень надежности экономического решения, кроме неопределенности исходной информации, влияют также и возможности осуществления в системе необходимых технико-экономических маневров при отклонении фактических условий и параметров осуществляемого решения от проектных.

В дальнейшем неблагоприятные отклонения фактических условий реализации решений от предполагаемых будем называть возмущающими воздействиями или возмущениями. Возмущения могут быть внешними, т.е. идущими со стороны внешней среды (инфляция, изменение законодательства, недопоставки ресурсов и т.д.) и внутренними (просчеты в технологических параметрах работы оборудования, внутренней нормативной базы, в принципах управления компанией и т.д.). Гарантией надежности принимаемого решения можно управлять как через уточнение информации, так и путем осуществления технико-экономических маневров в системе в ходе его реализации. Предпосылки того и другого должны быть заложены на стадии разработки решения. В противном случае цена просчетов может оказаться чрезвычайно высокой.

Вопросы обеспечения надежности развития и функционирования экономических систем носят не только технический характер, но и переплетаются с хозяйственным механизмом. Не случайно в западной экономике большое внимание уделяется проблемам риска в принятии экономических решений. Отличительная черта западной экономики – наличие больших резервов. Это, в первую очередь, резервы мощностей, резервы потенциальных поставщиков сырья и материалов, резервы рабочей силы и др. Главным «дефицитом» для нее является рынок сбыта. Но именно он диктует необходимость принятия надежных решений в области производства и сбыта продукции или услуг. За «ненадежность» приходится платить не из государственного кармана, а из кармана каждого совладельца компании.

Само по себе наличие даже больших резервов не является гарантией эффективного развития и функционирования экономической системы. Ярким примером тому долгие годы являлась советская экономика. Она обладала огромными резервами природных и других ресурсов в форме неиспользованных (невысвободившихся) запасов. Бесхозяйственность в этом смысле – тоже резерв организационных возможностей. Однако, несмотря ни на какие постановления высшего руководства, все эти резервы вовлечь в производство не удавалось в течение десятилетий.

Организационная сторона использования резервов для нейтрализации неблагоприятных воздействий на реализацию принятого решения более технологична по своей сути, она во многом может не зависеть от политического устройства среды, окружающей экономический объект. Так, в социалистической экономике важнейший фактор экономической «ненадежности» был связан с недопоставками сырья и материалов, ведущими к дефициту конечного продукта, идет ли речь о продукции материальной сферы или сферы услуг. Поэтому и основные ее резервы – это в основном запасы сырья, материалов и гораздо реже – производственных мощностей, труда и готовой продукции. Структура резервов западной экономики совершенно противоположна: на первом месте – готовая продукция, затем производственные мощности и труд, а резервы сырья и материалов занимают, видимо, одно из последних мест по своей приоритетности.

Нужно отметить, что теория управления капиталистической экономикой, несмотря на огромные отличия от теории управления социалистической, примерно до начала 80-х гг. имела с ней ряд общих концептуальных принципов, называемых на Западе рационализмом. Однако ряд кризисов, случившихся после того, как, казалось, уже был найден противокризисный инструмент (теории Кейнса, Самуэльсона и др.), заставляет экономистов вновь и вновь возвращаться к проблеме выживаемости, приспособляемости компаний к внешним условиям. В отличие от рационалистов современные специалисты основной экономической эффект связывают не с резервами внутреннего совершенствования, а с возможностями компании адап-

тироваться к фактически складывающимся условиям рынка ресурсов, технологий, труда, условиям внешнеполитической обстановки и др. [115].

Определенные элементы такого подхода в нашей стране были распространены в теории и на практике и раньше (теория игр, страховое дело и др.), но процессы адаптации экономисты начинали рассматривать в рамках формирования и реализации механизмов развития и функционирования экономических систем только относительно недавно. Это нашло отражение, в частности, в элементах теории стратегического, ситуационного управления.

Подобного рода работы ведутся в нашей стране с 1975 г. Их суть в следующем: рассматривается ряд так называемых адаптивных характеристик и считается, что экономическая система (компания, отрасль, регион и т.д.) будет способна эффективно адаптироваться к меняющимся условиям функционирования и развития, если соответствующее принимаемое технико-экономическое решение будет удовлетворять определенным нормам (уровням). К числу таких характеристик можно отнести надежность, маневренность, обратимость, живучесть, напряженность и ряд других [115].

Безусловно, рыночная экономика развивает интерес к разработке механизмов управления экономическими системами в условиях неопределенности, т.к. рыночные отношения менее предсказуемы, чем плановые. Директивное централизованное планирование практически исключало возможность использования экономического маневра как реакции на несовпадение фактически складывающихся условий с предполагавшимися. Классические схемы «затраты – результаты» в условиях детерминистской оптимизации планов не учитывали маневренных свойств планируемых объектов. Маневренные же свойства предполагают скоростные возможности перестройки (адаптации) системы и составляющих ее объектов. Учет этих свойств может коренным образом менять представление об экономической эффективности объекта. В частности, замыкающий объект, обладающий высокими маневренными свойствами в условиях быстро меняющейся обстановки процесса производства и реализации продукции или услуг, может приобрести в конкретной ситуации преимущества по сравнению с инерционными, кажущимися высокоэффективными объектами.

Радикальная реформа управления экономикой не снимает проблемы обеспечения надежности принимаемых решений – она из плоскости централизованного планирования переходит в плоскость фирменного планирования. Такой переход, безусловно, повышает требования к обеспечению надежности принимаемых решений, так как за «ненадежность» придется расплачиваться самому хозяйствующему субъекту из собственных средств. В частности, субъект будет расплачиваться за низкие маневренные свойства, не позволяющие быстро реагировать на меняющиеся условия функционирования и развития. Не случайно в западных странах с «абсолютной» хозяйственной самостоятельностью экономических систем созданию гибких (маневренных) производственных систем (ГПС), призванных быстро реагировать на изменение условий реализации принятых решений, уделяется большое внимание.

Гибкие системы позволяют осуществлять технико-экономический маневр как реакцию на изменение обстановки. Проблема в настоящий момент состоит в обеспечении конкурентоспособности таких систем относительно «обычных» производственных систем. Сейчас большое распространение в планировании приобретают проекты не только с гибкой активной частью основных фондов, но и пассивной, а также с гибкой организационной структурой.

Актуальность проблемы надежности, ее инвариантность относительно хозяйственного механизма выдвигают необходимость теоретического осмысления, методического,

экономико-математического и программного обеспечения решения связанных с ней задач принятия решений. То же самое можно сказать и о проблеме обеспечения маневренными качествами планов как одним из важнейших средств достижения их надежности.

Надежность и маневренные качества принимаемого решения являются важнейшими характеристиками целостности систем, они позволяют экономической системе не только «выжить» при неблагоприятных условиях, но и функционировать с достаточно высокой эффективностью.

Оптимизация планирования развития и функционирования экономических систем в условиях неопределенности предполагает следующее.

1. Принятие плана с максимальной или достаточной надежностью его выполнения. Такой план можно назвать исходной точкой. Он представляет собой совокупность детерминированных значений параметров, характеризующих задание по выпуску продукции, объемы поставок ресурсов, удельные показатели их затрат, показатели эффективности (прибыль, рентабельность, производительность труда, себестоимость и т.д.), а также различные конкретные задания по достижению целей социального развития системы, формированию инфраструктуры, охране окружающей среды и др. В общем случае надежность плана должна характеризовать степень уверенности в выполнении содержащихся в нем решений.

2. Наличие количественных оценок надежности и оценок степени отклонения фактических значений тех или иных плановых установок от проектных.

3. Выявление средств и способов обеспечения требуемого уровня надежности и адаптивности развития системы, проявляющихся через допустимые варианты экономического маневрирования в ней, которые заложены на стадии проектирования и согласования будущего развития системы с другими системами.

Различные варианты планов, как правило, имеют неодинаковую надежность вследствие различий:

- в составе ресурсов, необходимых для выполнения плана, в текущей и перспективной обеспеченности ими и вероятности получения их в требуемом объеме;
- в составе мероприятий технического прогресса, закладываемых в план, и вероятности их выполнения. Наиболее вероятно внедрение тех мероприятий, которые уже прошли определенный этап апробации;
- в способности различных вариантов плана по-разному компенсировать возмущающие воздействия. Она определяется маневренными свойствами плана через структуру и уровни резервирования, возможности использовать взаимозамены ресурсов, продукции и т.д.;
- в составе системы, топологии ее внутренних связей и взаимодействий с другими объектами отрасли, региона, национальной экономики и т.д. По каждой из связей вероятен «отказ», т.е. ее нарушение по тем или иным причинам, что свойственно любой реальной экономической системе;
- в объеме неопределенности исходной технико-экономической информации, положенной в основу вариантов плана, особенно при больших горизонтах планирования, и в способах учета этой неопределенности.

Для учета фактора надежности необходимо, прежде всего, дать формальное выражение показателя надежности. Отметим, что общепризнанным в отечественной литературе понятием надежности является комплексное свойство систем удовлетворительно выполнять необходимые функции в течение рассматриваемого интервала времени.

Количественной же характеристикой этого свойства может служить вероятность того, что система будет выполнять требуемые функции в течение заданного интерва-

ла времени. Такая характеристика в зарубежной литературе носит название «надежность» [3], в отечественной – «вероятность безотказной работы».

Комплексность состоит в том, что надежность может отражаться целым рядом частных ее показателей и характеристик, таких, например, как безотказность, долговечность, устойчивоспособность, живучесть, безопасность и др.

Аналогом количественной оценки данного показателя для экономических систем может служить потенциальная вероятность выполнения решения по тому или иному показателю в рассматриваемый интервал времени [115].

Пусть величина P_k^0 представляет собой значение некоторого выходного k -го планового показателя развития и функционирования системы, недостижение которого в данный период может интерпретироваться как «отказ» (или «сбой»). Пусть далее P_k – вероятное фактическое значение этого показателя, отличающееся от запланированного в силу возможных изменений условий реализации. Тогда вероятность события $P_k > P_k^0$ в рассматриваемый период времени будет характеризовать надежность выполнения решения по k -му показателю. Это определение потенциальной надежности формально представим в виде

$$q_k = q(P_k > P_k^0), \quad (5.2)$$

где $q(P_k > P_k^0)$ – вероятность события ($P_k > P_k^0$).

Противоположное событие можно рассматривать в терминах технических систем как «отказ» в экономической системе.

Наиболее важным требованием к показателям надежности является их интерпретируемость. Это, в первую очередь, касается показателей надежности экономического решения. Основным таким показателем, характеризующим в ретроспективе надежность экономического решения, является процент или доля его выполнения, поэтому с ним целесообразно связать характеристику надежности экономического решения.

Во введенных выше обозначениях данный показатель можно записать как

$$H_k = 1 - E\left(\frac{P_k^0 - P_k}{P_k^0}\right), \quad k = 1, \dots, K \quad (5.3)$$

где H_k – оценка надежности (в дальнейшем будем говорить просто – надежность экономического решения) по k -му показателю экономического решения;

E – символ математического ожидания;

K – номенклатура оцениваемых показателей;

P_k^0 – проектируемое (плановое) значение k -го показателя;

P_k – его вероятное фактическое значение.

Естественно, что оценка надежности, рассчитанная по формуле (5.2), может не совпадать с оценкой (5.3). Более того, оценка H_k может быть в некоторых случаях даже больше единицы. Но, тем не менее, ее использование в экономических системах может быть полезным.

Обосновать выбор оценки (5.3) можно следующим образом.

Во-первых, для формирования требуемого уровня надежности принимаемого экономического решения можно использовать ретроспективные оценки – проценты выполнения экономического решения данной системой в прошлом.

Во-вторых, надежность экономического решения в смысле оценки (2) – управляемая характеристика. При этом управление ею возможно через управление функцией эластичности. Последнее напрямую выводит процесс управления на использование различного типа резервов: технологических, структурных, запасов и т.д., различающихся по своим маневренным и затратным характеристикам.

В-третьих, можно утверждать, что для систем, близких к экономическим, оценки (5.2) и (5.3) положительно коррелированы, т.е. увеличение одной влечет за собой увеличение другой. Это вызвано тем, что в некоторых ситуациях анализа экономического решения фактически возможные значения того или иного выходного показателя, рассматриваемого как случайная величина, имеют ограниченную дисперсию [115]. Конечно, возможно перевыполнение или невыполнение в несколько раз экономического решения, но такие грубые (катастрофические) промахи в принятии решений чрезвычайно редки и потому не входят в круг исследований данной работы.

Очевидно, что чем выше надежность достижения поставленных целей, тем лучше. Однако повышение надежности, как правило, требует не только дополнительных затрат, но и определенной технологии использования этих затрат. В частности, технология повышения надежности должна содержать в себе технологию вовлечения резервов. Сам процесс вовлечения резервов можно назвать маневрированием [115]. Технично-экономическое маневрирование является одним из средств повышения надежности достижения цели.

Методика экономического маневрирования должна отражать средства, способы и экономическую эффективность. Резервы, которые могут выступать в качестве основных средств маневрирования, можно разбить на следующие группы:

- запасы материальных ресурсов;
- финансовые и трудовые ресурсы;
- запасы готовой продукции;
- резервы производственных мощностей;
- структурная избыточность производственно-технологических связей, включая избыточность транспортных связей, дублирование связей смежных производственных элементов;
- резервы инфраструктурных объектов.

Проведение того или иного маневра требует определенных финансовых затрат. Эффективность этих затрат может быть оценена только через сопоставление с возможным ущербом при отказе от маневра.

В силу того, что фактические условия развития и функционирования экономической системы носят вероятностный характер, потребность в маневре также носит вероятностный характер. Инерционность же производственных систем требует обеспечения определенного уровня их маневренных свойств на стадии проектирования и ранних стадиях развития и функционирования. Последнее означает наличие риска омертвления средств, вложенных в маневрирование, если оно не потребуется в том или ином виде и объеме. В этом отношении прослеживается необходимость оптимизации средств маневрирования с предъявляемой к системе надежностью экономических решений.

Важнейшей характеристикой, позволяющей управлять надежностью экономической системы, является адаптивность – способность приспосабливаться, адекватно реагировать на изменения внешней и внутренней среды. Основные составляющие адаптивности – гибкость и маневренность.

Гибкость экономической системы – способность адаптироваться без изменения структуры; как правило, эта способность проявляется при малых возмущениях.

Маневренность – способность системы к адаптации посредством структурной перестройки и проявляется при больших возмущающих воздействиях. В качестве примера можно рассмотреть в качестве возмущения ветер, воздействующий на дерево. При малом ветре (возмущении) дерево гнется, но не теряет свои ветви (проявляется гибкость системы), при большом ветре происходит изменение структуры (теряются ветки, может сломаться ствол), т.е. происходит маневрирование при сохранении живучести как одной из характеристик надежности системы.

Живучести системы – способность погасить неблагоприятные возмущения.

Названные категории применимы и к экономическим решениям, принимаемым в процессе управления экономическими системами, и в некотором смысле относятся к рычагам и методам механизма управления экономическими системами вообще и управления взаимодействием субъектов экономических систем в частности.

5.2. Формальная схема оптимизации проектных решений с учетом требований надежности и адаптации

Задача обеспечения надежности и адаптации плановых решений может быть в самом общем виде сформулирована в терминах «вход – выход» кибернетических систем следующим образом. Рассмотрим отображение

$$\langle S, A \rangle \xrightarrow{X} P, \quad (5.4)$$

где S, A, P – множества, которые можно интерпретировать, например, так:

S – вектор входных параметров системы, в частности, им может быть вектор поставок ресурсов, развернутых во времени (материальные, трудовые; финансовые, временные и т.д.);

A – множество внутренних параметров системы, таких как удельные показатели затрат – выпуска и других параметров нормативной базы;

P – вектор выходных параметров для экономической системы. Это планируемые объемы выпуска продукции, ее качества, заданные темпы развития системы и т.д.

Оператор X в отображении может быть назван оператором принятия решения по развитию системы в условиях S, A, P .

Отображение (5.4) представляет собой одну из детерминированных схем принятия решений, когда множества S, A, P заданы точно.

Можно говорить об оптимальном выборе X . Для оптимизации принимаемого решения можно ввести дополнительное множество параметров C , представляющее собой показатели эффективности результата принятия решения X .

Условия принятия оптимального решения могут быть записаны как отображение вида:

	X		
$\langle S, A, C \rangle$	\Rightarrow	P	(5.5)
	opt		

где множество параметров C может формировать некоторый критерий или совокупность критериев оптимизации.

Обобщенно в форме (5.5) могут быть представлены многие задачи линейной и нелинейной оптимизации (задачи линейного программирования, сетевого планирования, марковских цепей и т.д.). В каждом конкретном случае данная принципиальная схема может быть развернута в систему конкретных соотношений и условий поиска наилучшего решения. Так, для задачи линейного программирования S может быть вектором ограничений ресурсов, A – матрицей расходных коэффициентов, P – вектором заданием ограничений (требований) по производству продукции, достигнутию каких-либо требуемых уровней по эффективности, X – решением прямой задачи линейной оптимизации.

Отображение аспектов стохастичности (неопределенности) в принятии плановых решений требует введения дополнительных параметров и условий.

Для обозначения различных вероятных условий развития планируемой системы будем использовать принятый в стохастическом программировании термин «состояние природы». В отраслевой системе «состояние природы», – например, один из возможных вариантов по условиям ее обеспечения ресурсами, задание по выпуску продукции и т.д.

Будем обозначать индексом $k \in K$ каждое «состояние природы», где K – множество всех возможных (вероятных) «состояний природы». В общем случае K – бесконечное (и даже не дискретное) множество.

Условия принятия решения при k -м «состоянии природы» могут быть в терминах отображения (5.5) записаны как совокупность отображения:

	X^{k_0}		
$\langle S, A, C \rangle$	\Rightarrow	P^k	$k_0 \in K$ (5.6)
	opt		

Вариантные расчеты, широко используемые в экономических исследованиях, по существу реализуют данную систему отображений (5.6), которая может дополняться другими конструкциями, например, построение платежных матриц и переход к принятию решения на основе теории игр.

Многие условия, включаемые в дополнительный анализ схемы вариантных расчетов, могут быть сформулированы как условия целостности (связности) системы ограничений (5.6) по всему множеству K «состояний природы». Кроме того, принимаемое на стадии планирования решение (X – в терминах рассматриваемой схемы) в итоге должно быть единственным, ориентированным на одно «выделенное» состояние природы $k_0 \in K$.

Назовем состояние k_0 центральным сценарием условий развития и функционирования системы. Таким сценарием могут быть наиболее вероятные условия или условия, пришедшие «сверху» из условий и планов развития смежных систем, и т.д. По отношению к центральному сценарию необходимо выбрать решение X такое, что

	X^{k_0}		
$\langle S^{k_0}, A^{k_0}, C^{k_0} \rangle$	\Rightarrow	P^{k_0}	$k_0 \in K$ .....(5.7)
	opt		

Кроме того, решение X^{k_0} должно удовлетворять определенному уровню надежности по достижению системой поставленных целей, отображаемых вектором P^{k_0} .

Как показывает практика реализации плановых решений, необходимо учитывать, а, следовательно, и закладывать в экономико-математическую модель условия на адаптацию (маневр) решения X^{k_0} по отношению к другим возможным «состояниям природы» $k \in K \setminus k_0$ (здесь $K \setminus k_0$ – множество состояний природы K , за исключением состояния k_0).

Цель такой адаптации должна состоять в обеспечении, с одной стороны, требуемого уровня надежности достижения планируемых показателей, заданных в векторе цели P^{k_0} , а с другой – устойчивости и управляемости фактических выходных параметров, которые обозначим вектором $P^{k\phi}$.

Управляемость при этом служит цели гарантированного приближения «факта» $P^{k\phi}$ к «плану» P^{k_0} при любых фактических условиях $K \setminus k_0$.

Последнее означает, что необходимо в модель включать условия на маневр (переход) от принятого решения X^{k_0} к наилучшему в новых фактических (в «состоянии природы» k) решению X^k .

Следовательно, задача состоит в выборе точно-множественного отображения (в терминах теории множеств) $X^{k_0} \rightarrow \{X^k, k \in K \setminus k_0\}$, здесь фигурные скобки означают набор всех содержащихся в них векторах – решениях X^k , удовлетворяющего перечисленным выше условиям.

Обозначим через $q(P^k \geq P^{k_0})$ выбранную ту или иную оценку надежности (в общем случае система таких оценок, т.е. вектор), отражающую условие того, что $P^k = P^{k\phi}$ будет больше или равно P^{k_0} . Такой оценкой может быть вероятность или та или иная ее статистическая оценка.

Условия надежности могут быть записаны как

$$q(P^k \geq P^{k_0}) \geq Q, \tag{5.8}$$

где Q – заданный уровень надежности.

Требование надежности может быть принято и в качестве критерия (системы критериев) оптимизации:

$$q(P^k \geq P^{k_0}) \rightarrow \max, \tag{5.9}$$

если ставится задача максимизации надежности реализации проекта.

При вариантных расчетах (имитации) для оптимизации принятия решения конструктивно мы можем оперировать не с вероятностью событий $q(P^k \geq P^{k_0})$, а только с их оценками, такими как математическое ожидание, дисперсия и другими моментами.

В качестве статистической оценки надежности в имитационных расчетах может быть принята оценка $H = E(P^k / P^{k_0})$ или что то же самое,

$$H = 1 - E(\Delta P / P^{k_0}), \tag{5.10}$$

где $\Delta P = P^{k_0} - P^k$ – невыполнение заданий (нежелательное отклонение) проекта по его целевым установкам, когда вместо ожидаемого «состояния природы» k_0 сложились фактические условия k и в этих условиях принятое решение X^{k_0} , корректировалось (осуществлялся маневр) на решение X^k , которое позволило получить на «выходе» результат P^k .

Условия (5.8), (5.9) применительно к показателю надежности (5.10) могут быть записаны как

$$H \geq H^0 \text{ или как } H \rightarrow \max.$$

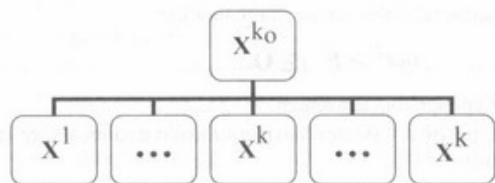
Принятое плановое решение уже само по себе несет определенный элемент инерционности в силу того, что: проведены проектные разработки, плановые расчеты, увязаны поставки ресурсов, продукции и т.д. Все это осуществлено с определенными, достаточно высокими затратами. Отказ от этого решения в пользу другого, лучшего в фактических сложившихся условиях, отличных от тех, на которые рассчитан первоначальный вариант, не всегда является эффективным. Все зависит от того, насколько необходимо прорабатывать заново вариант, на какую глубину реализован первоначальный вариант. Переход на новый вариант существенно сложнее, если он не был предусмотрен заранее, а, следовательно, не были выделены для этого материальные, финансовые, организационные и другие резервы.

Однако очень часто возмущающие воздействия, т.е. отклонения фактических условий реализации решений от плановых, бывают столь велики, что переход к новому решению оказывается необходимым. Следовательно, необходимо к перечисленным выше требованиям по надежности добавить условия на указанный переход, т.е. на маневр от принятого и, может быть, частично реализованного решения к фактически необходимому.

В общем случае запишем их в виде неявной зависимости

$$M(X^{k_0}, X^k) = 0. \tag{5.11}$$

Эти условия схематично выражают функциональную зависимость по переходу вектора планируемых параметров X^{k_0} к необходимому для маневрирования в фактически складывающихся условиях k решению X^k :



В простейшем, но важном для практики случае эти ограничения могут отражать условия, так называемого пассивного маневра $X^{k_0} - X^k$.

Окончательно схема вариантных расчетов с учетом обеспечения требований надежности и адаптации может быть представлена в следующем виде:

Найти решение X^{k_0} в расчете на условия $k_0 \in K$, такое, что:

	X^{k_0}		
$\langle S^{k_0}, A^{k_0}, C^{k_0} \rangle$	\implies	P^{k_0}	$k_0 \in K. \tag{5.12}$
	opt		

Это решение должно допускать спектр возможных корректировок (маневров) таких, что

	X^k		
$\langle S^k, A^k, C^k \rangle$		P^k	$k \in K \setminus k_0 \tag{5.13}$
	opt		

При этом должны быть выполнены условия надежности:

$$q(P^k \geq (P^{k_0}) \geq Q \tag{5.14}$$

или

$$q(P^k \geq P^{k_0}) \rightarrow \max, \tag{5.15}$$

Кроме того, должны быть выполнены условия на «разброс» выходных параметров (отклонения фактических от целевых установок):

$$|\Delta P / P^{k_0}| \leq \alpha, \tag{5.16}$$

Условия на «разброс» управляющих параметров от целевых установок или технико-экономической маневр:

$$M(X^{k_0}, X^k) = 0. \tag{5.17}$$

$$F(C^k \geq 0, X^k \geq 0, C^k, X^k) \rightarrow \text{opt}. \tag{5.18}$$

Здесь условие (5.16) выражает требование нормы эластичности или «разброса» выходных параметров проекта при всех фактических условиях его реализации. Функция (5.17) отражает требования максимизации или минимизации ряда показателей проекта. В общем случае эта оптимизация многокритериальная.

Данная схема была реализована авторами для проведения расчетов на основе линейной оптимизации ряда проектов. В их числе, в частности, были расчеты по оптимизации развития транспортной части ЕСГ, проводимых по договору с ВНИИ-ЭкГазпромом в конце 80-х годов прошлого века.

Для этого модель оптимизации потоков (каждый линейаризованный вариант) была представлена блочной задачей (рис. 5.1).

Реализация мероприятий НТП в системе требует финансовых вложений (инвестиций), поэтому ожидаемая оценка эффективности этих вложений производится в инвестиционном проекте (бизнес-плане). Некоторые инвестиционные проекты могут разрабатываться на основе применения стандартных специализированных пакетов программ для ЭВМ. Однако для достаточно сложных проектов, внедрения НТП на уровне отрасли или крупной компании возникает необходимость использования оригинальных компьютерных разработок с привлечением математиков-программистов. Одним из средств ком-

пьютерной реализации экономико-математических моделей может быть аппарат, базирующийся на методах оптимального математического программирования, в частности аппарат линейного программирования. С его помощью можно провести финансовые расчеты для оценки экономической эффективности, а также для построения календарных планов-графиков реализации проекта и контроля за ходом его выполнения.

Реализация проекта предполагает наличие графика и контроля за ходом его выполнения. В Институте экономики СО РАН в свое время была разработана система контроля за ходом реализации крупных проектов на основе сетевых моделей. Она, в частности, достаточно успешно использовалась для контроля за ходом строительства БАМ. В настоящее время широко используются разработки для персональных компьютеров, выполненные для среды «Windows».

Технологические матрицы-блоки (нормы затрат ресурсов – выпуска продукции по всем «состояниям природы»)				Блоки матриц-невязок				Ограничения в «состояниях природы»	
A^0	0	...	...	0	0	...	...	\leq	S^0
				$-E$				\geq	0
...	A^1	...	...	0	0	...	...	\leq	S^1
				0	$-E$			\leq	0
...
0	...	...	A^N	0	0	...	...	\leq	S^N
								\geq	0
Блоки ограничений на маневр (пассивный)									
E	E	...	0	0				\geq	μ
...
E	0	...	E	0				\geq	μ
Блок требований по надежности									
0				Q^0	Q^1	...	Q^N	\geq	H
Блок требований нормы эластичности									
				E	E	...	E	\geq	P^m
				E	E	...	E	\leq	P^M
Коэффициенты целевой функции				Коэффициенты ущербов при невязках					
C^0	C^1	...	C^N	d^0	d^1	...	d^N	<i>Opt</i>	
Искомое решение				Корректировка решения					
X^0	X^1	...	X^N	Y^0	Y^1	...	Y^N		

Рис. 5.1. Модель оптимизации потоков

5.3. Обеспечение экономической надежности и гибкости транспортной системы (на примере развития магистральной системы транспорта газа)

При моделировании и проектировании развития и функционирования сложных технико-экономических систем, например энергетики вообще или газотранспортных систем (ГТС) в частности, наряду с технической надежностью системы особое значение имеет ее экономическая надежность.

Существенно развитая и широко представленная в научной и учебной литературе теория технической надежности систем относится главным образом к эксплуатационным их характеристикам. Прогнозирование и анализ технической надежности осуществляется на стадии проектирования методами математического моделирования, имитации функционирования будущей системы, а когда система уже создана и функционирует, производится анализ ее надежности с помощью диагностики, выявляются и оцениваются потенциальные риски аварий и связанные с этим мероприятия по снижению потерь.

В отечественной и зарубежной теории и практике существуют различные определения надежности технических систем: способность выполнять ими требуемые функции в течение определенного интервала времени, вероятность достижения поставленных целей и другие. В принципе, подобные определения эквивалентны как в смысловом, так и в количественном отношении и служат цели повышения качества функционирования системы, ее целостности, способности адаптироваться и противостоять негативным воздействиям (возмущениям), которые не всегда могут быть точно предсказаны во времени и по силе их проявления.

В качестве показателя надежности технико-экономической системы примем ожидаемый процент или долю достижения поставленных перед ней целей. В качестве ожидаемого процента можно принять математическое ожидание, если задан вероятностный закон проявления того или иного сценария развития и функционирования системы.

$$H = E(P_\phi / P_{пл}), \quad (5.19)$$

где H – показатель надежности, E – символ математического ожидания, $P_{пл}$ – плановое или проектируемое значение целевого показателя, P_ϕ – его фактически полученное значение в результате реализации проекта или плана. Фактическое значение может быть и при имитационном моделировании.

Естественно, что математическое ожидание не может быть абсолютно адекватным показателем надежности, т.к. оно может быть высоким при большом разбросе вероятных (ожидаемых) значений целевых показателей. Потому, задавая такой показатель надежности, необходимо создать в проектируемой системе механизм управления, способный ограничить разброс ожидаемых значений ее целевых показателей. В технических системах, как правило, ограничение на разброс задается дисперсией. Для технико-экономических систем, в проектировании которых широко используются линейные модели прямого счета или оптимизации, ограничения целесообразно задавать в форме абсолютных отклонений. Такие ограничения, с одной стороны, более жесткие, чем дисперсия, но при этом они не нарушают линейности в постановке задачи и допускают конкретную технико-экономическую интерпретацию.

Под экономической надежностью ГТС будем понимать степень уверенности в выполнении целей системы, например, таких как: обеспечение перекачки требуемых объемов газа, стабильное снабжение потребителей газом, устойчивое функционирование системы и др.

Экономическая надежность закладывается в систему на стадии моделирования и проектирования ГТС и позволяет учесть экономику функционирования системы в условиях неопределенности будущих условий ее развития и функционирования.

Неопределенность отражается в наличии возмущающих воздействий на условия развития системы. Источниками возмущений являются:

- прогнозные запасы газа, обладающие высокой неопределенностью и зависящие от вкладываемых объемов капитальных вложений в геологоразведку. В перспективе сырьевая база будет характеризоваться усложнением структуры запасов газа, снижением эффективности геологоразведочных работ (ГРП) и другими неблагоприятными тенденциями, увеличивающими неопределенность прогноза запасов газа;
- возможные отклонения от запланированных поставок дефицитных ресурсов, необходимых для развития ГТС: капитальных вложений, металла, компрессорных станций и др.;
- невыполнение планов по срокам ввода мощностей магистральных газопроводов (линейной части, компрессорных станций);
- изменение спроса потребления газа по узлам.

Учет надежности подготавливает систему, уже на стадии проектирования, к изменениям условий функционирования, предусматривает перестройку, адаптацию системы к возможным возмущениям путем совершения экономического маневрирования. Проиллюстрируем надежный подход к формированию ГТС на примере оптимизационной экономико-математической модели ГТС.

Расчеты проводились на примере условной ГТС (рис. 5.2), состоящей из восьми районов-потребителей (1, 3, 5, 6, 7, 9, 10, 11), четырех районов добычи газа (2, 8, 4, 12) и сети магистральных газопроводов (восемь проектируемых и четырнадцать действующих).

Исследованы на надежность следующие варианты структур системы газоснабжения:

- без ограничений по запасам (добыче) газа;
- с ограничениями, равными математическим ожиданиям запасов по районам при некоторых фиксированных капиталовложениях в геологоразведку;
- вариант, сформированный с учетом нормы надежности подачи газа потребителям.

Для указанных вариантов выявлены необходимые объемы резервирования по мощностям добычи и транспорта газа. В соответствии с принятым в задаче нормативом надежности в 95% определены необходимые объемы капитальных вложений в геологоразведочные работы по подтверждению прогнозных запасов газа. Потребности в газе по районам в млрд. м³/год приведены в табл. 5.1.

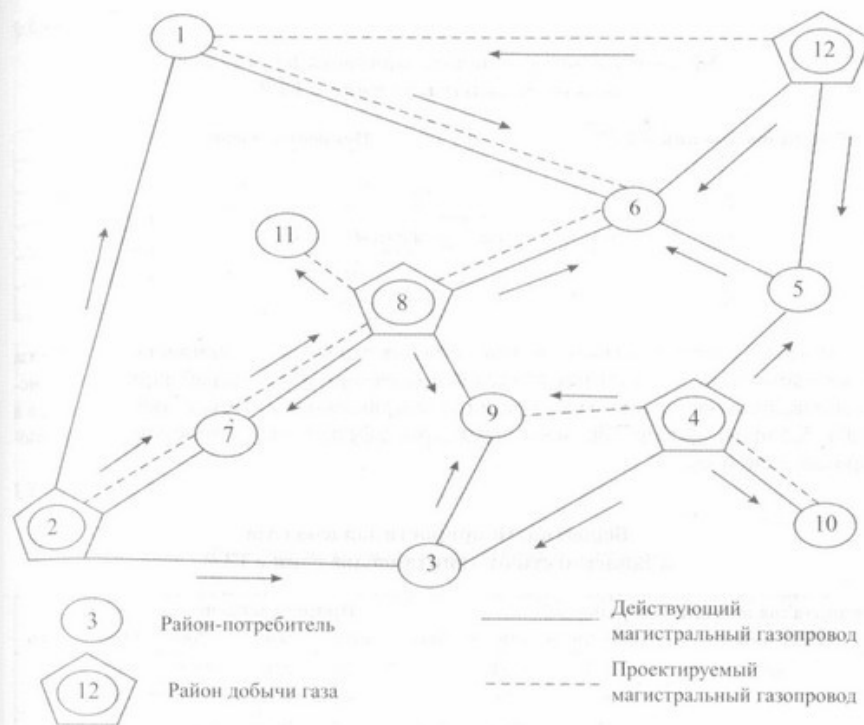


Рис. 5.2. Схема газоснабжающей системы

Таблица 5.1

Потребности в газе по районам

Район потребления	Потребность в газе, млрд. м ³ /год
1	7,5
3	11,5
5	6,9
6	29,5
7	45,0
9	26,0
10	19,0
11	12,0

Общая потребность в газе по системе $B = \sum_{r=1}^{n_2} B_r = 157,4$ млрд. м³ / год.

Для районов добычи принят вероятностный характер запасов газа. В общем виде зависимость их прироста от величины капитальных вложений в геологоразведочные работы (ГРП) приведена в табл. 5.2. Здесь величины q_j означают вероятность того, что при капитальных вложениях в геологоразведку на газ K_j в данном районе будут получены запасы в объеме не меньше z_j .

Таблица 5.2

**Зависимость вероятностей прироста запасов газа
от капитальных вложений в ГРП**

Капиталовложения и ГРП	Прирост запасов			
	z_1	z_2	...	z_n
K_1	q_{11}	q_{12}	...	q_{1n}
K_2	q_{21}	q_{22}	...	q_{2n}
...
K_m	q_{m1}	q_{m2}	...	q_{mn}

В табл. 5.3 приведены конкретные значения вероятностей прироста запасов газа в зависимости от капитальных вложений в геологоразведку по районам добычи, использованные при оценке надежности рассматриваемой системы газоснабжения, а в табл. 5.4 представлены основные параметры действующих и проектируемых газопроводов системы.

Таблица 5.3

**Вероятности прироста запасов газа
в зависимости от капиталовложений в ГРП**

Капиталовложения в ГРП, млн. у.е.	№ района добычи	Прирост запасов						
		0	300	600	900	1200	1500	1800
67	2 и 4	0,51	-	0,22	0,08	0,04	0,01	0
856	8	1,00	-	0,86	0,45	0,09	0	0
342	12	0,98	0,96	0,87	0,50	0,09	0	-

Удельные приведенные затраты в добычу и транспорт газа (табл. 5.5, 5.6, 5.7) рассчитаны с учетом удорожания строительства и эксплуатационных расходов по районам добычи. Принятая стоимость топливного газа 40 у.е. / 1000 м³, цена труб – 350 у.е./т. Удельные затраты на компенсацию недопоставок газа взяты на уровне замыкающих затрат на газ. Учтены также кратности запасов газа по районам.

Таблица 5.4

**Основные технологические параметры действующих и строящихся
газопроводов**

Газопроводы	Параметры			
	длина, км	диаметр, мм	максимальная пропускная способность, млрд. м ³ /год	количество ниток
Действующие				
2-1	3000	2000	15,9	-
2-3	2500	1220	15,9	-
2-7	750	1220	16,9	-
1-6	3500	1020	11,5	-
3-9	1500	1020	11,5	-
4-3	2000	1020	11,5	-
4-5	1500	1220	15,9	-

4-10	1675	1020	11,5	-
5-6	1850	720	4,1	-
8-6	1500	1020	11,5	-
8-7	1650	1020	11,5	-
8-9	1000	820	6,0	-
12-5	2250	820	6,0	-
12-6	1250	820	6,0	-
Проектируемые				
2-7	750	1200	-	2
4-9	1500	1220	-	2
4-10	1675	1220	-	1
6-1	3500	1020	-	1
7-8	1650	1020	-	1
8-6	1500	1420	-	1
8-11	350	1420	-	1
12-1	4000	1420	-	2

Таблица 5.5

Удельные приведенные затраты в добычу

Добыча по районам	Удельные приведенные затраты, млн. у.е./млрд. м ³
2	3,11
4	2,73
8	3,83
12	7,8

Таблица 5.6

**Удельные приведенные затраты в транспорт газа по действующим
газопроводам**

Транспорт газа по действующим газопроводам	Удельные приведенные затраты, млн. у.е./млрд. м ³
2-1	7,29
2-3	6,07
2-7	1,82
1-6	8,48
3-9	3,64
4-3	4,86
4-5	3,64
4-10	4,07
5-6	7,50
8-6	3,64
8-7	4,00
8-9	2,80
12-5	6,30
12-6	3,50

Для расчетов надежности системы газоснабжения использована модификация модели оптимизации структуры Единой газоснабжающей системы, в которую включены только крупные элементы, определяющие основные направления развития системы [50].

Таблица 5.7

Удельные приведенные затраты в транспорт газа по проектируемым газопроводам

Транспорт газа по проектируемым газопроводам	Удельные приведенные затраты, млн. у.е./млрд. м ³
2-7	3,08
4-9	5,35
4-10	6,25
6-1	14,6
7-8	6,89
8-6	8,72
8-11	2,03
12-1	38,50

1. Целевая функция – минимум затрат на добычу и транспорт газа:

$$\sum_r p_r x_r + \sum_l p_{lk} x_{lk} + p_{lk}^0 x_{lk}^0 + \sum_r p_r^0 \Delta B_r \rightarrow \min$$

2. Балансы добычи, поступления и потребления (передачи) газа по районам:

$$x_r + \sum_l x_{lr} + \sum_l x_{lr}^0 - \sum_k x_{rk} - \sum_k x_{rk}^0 + \Delta B_r = B_r$$

3. Ограничения на пропускные способности действующих газопроводов:

$$x_{lr}^0 \leq s_{lr}; \quad x_{rk}^0 \leq s_{rk}$$

4. Ограничения на объем добычи газа в районе:

$$x_r \leq D_r$$

В модели приняты следующие обозначения:

x_r – объем добычи газа в r -м районе;

x_{lk} – пропускные способности новых газопроводов на участках lk ;

x_{lk}^0 – пропускные способности действующих газопроводов на участках lk ;

ΔB_r – недопоставка газа в r -й район (недостаток газа по сравнению с заданной потребностью);

s_{lk} – максимально допустимые пропускные способности действующих газопроводов на участках lk ;

D_r – максимально допустимый объем добычи газа в r -м районе, формируемый в зависимости от величины промышленных запасов в этом районе;

B_r – потребность в газе r -го района;

p_r – удельные приведенные затраты, связанные с добычей газа в r -м районе;

p_{lk} – удельные приведенные затраты, связанные с транспортом газа на участках новых газопроводов lk ;

p_{lk}^0 – удельные приведенные затраты, связанные с транспортом газа на участках действующих газопроводов lk ;

p_r^0 – затраты (потери) на компенсацию недопоставки в r -й район 1 млрд. м³ газа.

Для анализа надежности получено два оптимальных варианта детерминированного плана системы: без ограничений по запасам и добыче и с ограничениями по добыче, рассчитанными исходя из средней величины запасов по районам. В обоих вариантах планы поставок газа потребителям выполняются полностью. Сумма приведенных затрат в плане с ограничениями по добыче больше, чем в плане без ограничений – соответственно 2840 и 2747 млн. у.е.

Формирование надежного оптимального плана осуществлялось путем имитации будущих условий развития системы. Имитация будущих условий развития системы по запасам осуществлялась методом Монте-Карло (статистических испытаний) в соответствии с законами распределения вероятностей получения запасов газа по районам добычи в заданных объемах (см. табл. 5.3). По результатам испытаний рассчитаны математические ожидания интенсивностей загрузки газопроводов, максимальные размеры загрузки новых газопроводов, частота вхождения в план объектов системы, математическое ожидание общей недопоставки газа в систему при всех варьируемых условиях развития, а также математические ожидания оценок ограничений по добыче и транспорту газа.

Надежность системы по обеспечению потребителей газом при $B = 157,4$;

$E\Delta B = 13,02$ (8,26%) и заданном на первом этапе объеме капиталовложений $K = \sum K_r = 1332$ млн. у.е. ($K_2 = 67$ млн. у.е., $K_4 = 67$ млн. у.е., $K_8 = 856$ млн. у.е., $K_{12} = 342$ млн. у.е.) составила $H = 1 - \frac{E\Delta B}{B} = 91,74\%$ (здесь E – символ математического ожидания, индекс у символа K – номер района добычи).

Анализ маневренных свойств системы и пути повышения ее надежности начинается с выяснения того, что является причиной низкой ($H = 91,74\%$) надежности системы: недостаточно гибкая структура газопроводов при наличии дополнительных объемов запасов для маневра или недостаток запасов при имеющемся резерве пропускных способностей газопроводов и наличии достаточной гибкости газопроводной сети. Рассмотрим структурную картину недопоставок. Недопоставки газа наблюдались во всех районах-потребителях, кроме 1-го. Максимальная частота недопоставок в районах № 3, 6, 7 и 9. Приведем величины наибольших недопоставок и их математические ожидания по районам (табл. 5.8).

Таблица 5.8

Величины наибольших недопоставок и их математические ожидания по районам

Район	Наибольшая недопоставка	Математическое ожидание недопоставки
1	0	0
3	11,5	4,2
5	1,9	0,2
6	12,5	3,1
7	45,0	12,8
9	20,0	4,6
10	19,0	1,7
11	12,0	1,4

«Наихудшими» по величине математического ожидания недопоставок являются районы № 3, 6, 7 и 9. Исследуем причины недопоставок газа в них.

Сначала проанализируем обеспеченность запасами. При этом под оптимальной мощностью понимается такой объем добычи в районе, который соответствует опти-

мальному плану потокораспределения газа по районам, обеспеченному запасами с учетом необходимой кратности.

Так как ограничение по добыче газа в каждом районе формируется исходя из величины запасов, полученной при имитации, оно определяет реально необходимую мощность по добыче, отличающуюся по оптимальной. Если прирост запасов меньше, чем нужно по оптимальному плану, считается, что происходит недогрузка мощностей по добыче в данном районе. Информация об использовании мощностей приведена в табл. 5.9.

Таблица 5.9

Использование оптимальных мощностей по добыче газа в районах

№ района добычи газа	Объемы добычи (мощности) по плану с недопоставками газа	% использования мощностей	Математические ожидания двойственных оценок ограничений по добыче	Направление капиталовложений в ГРП («+» – увеличение, «-» – сокращение)
2	33,6	100,0	19,5	+
4	48,3	91,1	16,1	+
8	29,6	90,5	29,9	+
12	23,6	46,7	0	-

Как видно из таблицы, мощности по добыче в районе № 2 используются полностью. В районах № 4 и 8 использование возможностей добычи в среднем также высокое (91,1% и 90,5%), а в районе № 12 оно составляет лишь 46,7%. Высокие двойственные оценки по трем районам добычи (№ 2, 4, 8) говорят о том, что маневр по объемам запасов обеспечен в системе недостаточно. Район № 12 имеет избыточные запасы (у него во всех испытаниях нулевая оценка), но возникающие недопоставки в соседних районах свидетельствуют о невозможности осуществления маневра ввиду недостаточных резервов по пропускным способностям газопроводов 12-5 и 12-6. В то же время в район потребления № 1 удается осуществить дополнительную подачу газа из района добычи № 12 (по новому газопроводу 12-1), поэтому здесь недопоставок газа в любой ситуации по запасам не происходит.

Далее исследуем структуру газопроводной сети с точки зрения возможных маневров по дополнительной подаче газа. Действующие газопроводы, подающие газ в районы с недопоставками, выходят по пропускным способностям на верхнюю границу и имеют ненулевые двойственные оценки по этим ограничениям (табл. 5.10).

Таблица 5.10

Двойственные оценки ограничений по пропускным способностям действующих газопроводов

Действующий газопровод	Двойственная оценка ограничений на пропускную способность
2-7	0,2
1-6	6,7
8-6	0,9
8-7	5,7
8-9	1,0
12-5	16,5
12-6	18,3

По остальным действующим газопроводам двойственные оценки нулевые. Следовательно, множество газопроводов, приведенное выше, является лимитирующим в структуре газопроводной сети, так как входящие в него газопроводы обладают достаточной маневренностью: они загружены на максимум пропускных способностей. Последнее для ликвидации «узких мест» газопроводной сети наращиваются для этого множества газопроводов в следующей последовательности (по критерию максимума математического ожидания двойственных оценок соответствующих ограничений): 12-6, 12-5, 1-5, 8-7, 8-9, 8-6, 2-6.

Таким образом, по результатам анализа первого этапа испытаний целесообразно повышение маневренности системы в двух направлениях:

- путем увеличения объемов капитальных вложений в геологоразведочные работы по трем районам добычи в пропорциях, соответствующих величинам математических ожиданий двойственных оценок ограничений по добыче в этих районах. Дополнительные капитальные вложения на прирост запасов составят: в районах № 2 и 4 – по 101 млн. у.е., в районе № 8 – 343 млн. у.е., итого – 545 млн. у.е.;
- путем увеличения пропускных способностей действующих газопроводов 1-6, 8-7, 12-5 и 12-6 в пропорциях, определяемых величинами математических ожиданий двойственных оценок ограничений по пропускным способностям.

На втором этапе расчетов надежность системы повысилась за счет комплекса мероприятий в геологоразведке и увеличения пропускных способностей газопроводов до 95,8%. Этот уровень превышает заданный норматив надежности (95%). Увеличить надежность системы удалось за счет того, что была повышена гибкость схемы газопроводной сети относительно пропускной способности газопроводов и увеличена маневренность системы путем использования резервов по запасам. При новых объемах капиталовложений в геологоразведочные работы вероятностная ситуация такова, что позволяет обеспечить добычу газа как для ближайших районов потребления, так и для дополнительной подачи соседним районам в случае неблагоприятной ситуации по запасам в них (разведанные запасы оказались меньше прогнозных). Зависимость надежности системы газоснабжения от объемов ресурсов характеризуют показатели, полученные на I и II этапах расчетов и представленные в табл. 5.11.

Таблица 5.11

Зависимость надежности системы газоснабжения от объемов ресурсов

Этап расчета	Надежность системы, %	Капиталовложения в ГРП, млн. у.е.	Объем металла, тыс. т.
I	91,74	1332	5137,8
II	95,8	1877	5365,5

Определим возможные варианты развития системы. В результате испытаний получена следующая информация об интенсивности вхождения проектируемых газопроводов в оптимальный план системы (табл. 5.12).

Рассмотрим три варианта плана строительства газопроводов: I – с максимальным использованием пропускных способностей газопроводов на всем множестве планов, полученных при различных условиях по запасам (графа 6); II – с максимальной частотой использования пропускных способностей газопроводов (графа 5); III – с математическими ожиданиями пропускных способностей газопроводов, рассчитанными по результатам испытаний (графа 4).

Если принять I вариант плана (графа 6), то будут обеспечены все необходимые маневры, которые использовались при испытаниях. По II варианту плана проведение необходимых маневров в основном обеспечивается, но в некоторых маловероятных случаях возможен недостаток пропускных способностей газопроводной сети, формально выраженный вектором (графа 9). Наконец, по III варианту плана (графа 4) также необходимо обеспечить определенную совокупность резервов газопроводов в соответствии с требуемым уровнем надежности системы.

В качестве резерва по пропускной способности газопровода берется математическое ожидание ее недостаточных величин по отношению к максимальной интенсивности использования (табл. 5.13).

В общем случае принятие одного из рассмотренных вариантов плана с учетом надежности будет зависеть от возможных объемов капиталовложений в строительство системы (металловложения и др.): $M_I > M_{II} > M_{III}$. Им соответствуют три уровня надежности системы: $H_I > H_{II} > H_{III}$.

Таблица 5.12

Возможные варианты пропускных способностей новых газопроводов и сравнительная характеристика их резервов, млрд. м³ / год

Газопровод	Пропускные способности					Резервы пропускных способностей газопроводов		
	по плану без учета надежности		по плану с учетом надежности			для плана без учета надежности		
	без ограничений по добыче	с ограничениями, равными математическим ожиданиям запасов	с математическими ожиданиями пропускных способностей	с максимальной частотой использования пропускных способностей	с максимальной интенсивностью использования пропускных способностей	без ограничений (стб.6 - стб.2)	с ограничениями, равными математическим ожиданиям запасов (стб.6 - стб.3)	для плана с максимальной частотой интенсивности использования пропускных способностей (стб.6 - стб.5)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
2-7	28,1	28,1	20,6	28,1	51,6	23,5	23,5	23,5
4-9	20,0	22,0	19,5	19,1	26,0	6,0	6,0	6,9
4-10	19,0	19,0	18,2	19,0	19,0	0	0	0
1-6	0	0	2,0	2,7	2,7	2,7	2,7	0
7-8	0	0	1,3	0	23,5	23,5	23,5	23,5
8-6	13,0	12,5	7,5	12,5	0	0	0	0
8-11	12,0	12,0	11,3	12,0	0	0	0	0
12-1	0	6,9	8,6	0	12,1	12,1	19,0	19,0

Объемы добычи для реализации плана с учетом надежности также сильно отличаются от обоих вариантов плана без учета надежности (табл. 5.14).

Проведем экономический анализ вариантов плана газоснабжающей системы (с учетом и без учета надежности). План, полученный с учетом надежности обеспечения газом потребителей в условиях вероятностного характера запасов, существенно отличается от вариантов, рассчитанных при некоторых средних ограничениях по запасам или без ограничений по ним. Для сравнения с надежным планом возьмем вариант, полученный с учетом ограничений, равных математическим ожиданиям запасов (детерминированный).

Таблица 5.13

Возможные варианты пропускных способностей действующих газопроводов и их резервы, млрд. м³ / год

Газопровод	Пропускные способности					Резервы газопроводов (графа 6 - графа .4)
	По плану без учета надежности		По плану с учетом надежности			
	без ограничений по добыче	с ограничениями, равными математическим ожиданиям запасов	с математическими ожиданиями пропускных способностей	с максимальной частотой использования пропускных способностей	с максимальной интенсивностью использования пропускных способностей	
1	2	3	4	5	6	7
2-1	7,5	0,6	2,7	0	7,5	4,8
2-3	0	4,4	4,3	0	15,9	11,6
2-7	16,9	16,9	14,3	16,9	16,9	2,6
1-6	0	0	4,2	0	11,5	7,3
3-9	0	0	0,4	0	4,4	4,0
4-3	11,5	7,5	5,3	0	11,5	6,2
4-5	6,9	1,9	4,5	1,9	11,0	6,5
4-10	0	0	0	0	0	0
5-6	0	0	0,8	0	4,1	3,3
8-6	11,5	11,5	9,9	11,5	11,5	1,6
8-7	0	0	3,4	0	11,5	8,1
8-9	6,5	4,0	3,8	6,0	6,0	2,2
12-5	0	6,0	3,1	6,0	6,0	2,9
12-6	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	0

Таблица 5.14

Объемы добычи по районам в планах с учетом и без учета надежности, млрд. м³ / год

Вариант плана	Районы добычи			
	2	4	8	12
С учетом надежности	80,0	67,5	53,5	29,0
С ограничениями, равными математическим ожиданиям запасов	50,0	50,0	40,0	16,9
Без ограничений по добыче	52,5	57,5	42,5	5,0

Если сравнить первоначальные объемы затрат по вариантам (суммы приведенных затрат на развитие системы и капитальные вложения в геологоразведочные работы), то реализация плана без учета надежности развития системы будет «дешевле» (табл. 5.15).

Превышение первоначальных затрат по надежному плану (графа 3) над детерминированным (графа 2) отражено в графе 4 и графе 5 и составляет по капитальным вложениям в геологоразведку 40,9%, а по приведенным затратам на развитие системы - 12,8%. Эта разница объясняется большими затратами на строительство

газопроводов и подготовительные работы для резервируемых мощностей в соответствии с необходимыми объемами резервирования. Таким образом, можно записать: $K_{дет}^{ГРП} < K_{ГРП}^{ГРП}$ (1332 млн. у.е. < 1877 млн. у.е.), $Z_{прив}^{дет} < Z_{прив}$ (2840 млн. у.е. < 3203,5 млн. у.е.).

Таблица 5.15

Экономическая эффективность различных вариантов плана газоснабжающей системы

Показатель	Варианты плана		Экономия (-), превышение (+) затрат		
	без учета надежности	с учетом надежности	абсолютное	%	
I	2	3	4	5	
Первоначальные затраты, млн. у.е.	Вложения в ГРП	1332,0	1877,0	+545,0	+40,9
	Сумма приведенных затрат	2840,0	3203,5	+363,5	+12,8
Уровень надежности варианта, %	83,1	95,8	-	-12,7	
Затраты с учетом адаптации, млн. у.е.	Дополнительные затраты на компенсацию недопоставок газа	1064,9	0	-1064,0	-
	Суммарные фактические затраты	3904,0	3203,5	-700,5	-21,9

В результате проверки детерминированного варианта на адаптивность при возможных возмущениях по запасам оказалось, что его надежность в условиях вероятностного характера запасов газа составляет 83,1%. Математическое ожидание недопоставки газа при этом равно 26,6 млн. м³ в год. Соответствующая разница в надежности на 12,7% по сравнению с более «дорогим» по первоначальным затратам надежным вариантом структуры влечет за собой дополнительные затраты (включая затраты на компенсацию недопоставок газа) в размере 1064,0 млн. у.е., что составляет 37,5% от первоначальной суммы затрат в 2840 млн. у.е. Тогда суммарные затраты в систему (первоначальные плюс затраты на адаптацию) равны: 2840 млн. у.е. + 1064 млн. у.е. = 3904 млн. у.е., т. е. больше, чем сумма приведенных затрат по надежному варианту плана (3203 млн. у.е.).

Превышение совокупных затрат по детерминированному варианту над соответствующей суммой затрат по надежному варианту плана составляет 21,9%. Оно объясняется жесткостью структуры газопроводной сети, невозможностью осуществления перестройки системы в условиях необходимости маневров по дополнительной подаче газа потребителям, «пострадавшим» из-за недостатка запасов в районах добычи. Таким образом, создание адаптивной системы, развивающейся по плану с учетом возможного изменения первоначальных условий по запасам газа, «выгоднее», так как в конечном итоге ее развитие и функционирование потребует меньшей суммы вложений, чем системы, построенной без учета свойств ее надежности.

Стратегия разгрузки (пассивных маневров) газопроводной сети при возможных недопоставках труб (недофинансирование строительства линейной части газопроводов) представляет собой наилучшую с точки зрения надежности последовательность отказа от строительства новых газопроводов или снижения их интенсивностей в ситуации недопоставки металла в систему. Для анализа вариантов распределения недопоставок трубопроводного металла в газоснабжающей системе проведены расчеты по модели оптимизации [50].

Получены и сравниваются две стратегии разгрузки газоснабжающей системы, построенные по ресурсоэкономности проектируемых газопроводов с учетом маневра в системе и без него.

Для стратегии разгрузки выделены следующие газопроводы: 2-7 (протяженностью 750 км); 4-9 (1500 км); 4-10 (1675 км); 8-6 (1500 км); 8-11 (350 км); 12-1 (400 км). Последовательность их вывода из плана, установленная по убыванию ресурсоэкономности, для системы без учета маневров следующая: 12-1, 4-10, 4-9, 8-6, 2-7, 8-11. Стратегия разгрузки системы с учетом маневров представлена в табл. 5.16.

Таблица 5.16

Стратегия разгрузки системы с учетом ее маневренных свойств

Показатель	№ газопровода					
	12-1	8-6	4-10	4-9	2-7	9-11
Металлоемкость газопроводной системы, тыс. т/млрд. м ³	∞	∞	173,9	138,2	52,1	14,1
Объем металла, тыс. т	1104	750	1304,8	1174,7	864	168

В табл. 5.17 дана информация о недопоставках газа по районам при отказе от строительства новых газопроводов.

Таблица 5.17

Недопоставки газа в системе при отказе от строительства газопроводов

Показатель	№ выводимого газопровода					
	2-7	8-11	4-9	4-10	8-6	12-1
	№ «пострадавшего» района потребления					
	7	11	9	10	6	1
Объем недопоставки в район потребления, млрд. м ³	16,6	12	8,5	7,5	-	-
Общая потребность района в газе, млрд. м ³	45	12	26	19	29,5	7,5

Как видно из приведенных данных, отказ от строительства новых газопроводов влечет за собой различные недопоставки газа как по абсолютной величине, так и по их доле в потребности обеспечиваемого данным газопроводом района. Некоторые газопроводы (8-6 и 12-1) характеризуются полной компенсацией недопоставок газа за счет перераспределения потоков по другим газопроводам. Таким образом, влияние отказа от строительства газопроводов на выполнение плана подачи газа различно.

Сравнивая обе стратегии разгрузки, можно видеть, что последовательности вывода газопроводов различны. На рис. 5.3 изображены обе последовательности отказа от строительства. По оси абсцисс откладываются объемы металлозатрат (в общем виде объемы капиталовложений) в соответствии с интенсивностями отказов от строительства газопроводов (диапазон недопоставок, измеряемых в тыс. т, [0; ΔM] = [0; 5366]), по оси ординат – недопоставки газа при выводе из плана соответствующего газопровода (снижение его интенсивности использования). Как видно из рисунка, в значительной части интервала возможных недопоставок металла кривая стратегии разгрузки без учета маневров выше, чем с учетом маневров, что отражает при отказе от соответствующих газопроводов большие недопоставки газа.

Если принять гипотезу о равномерном распределении недопоставок на интервале [0; ΔM], то математическое ожидание недопоставок газа по стратегии разгрузки с

учетом резервов пропускных способностей системы равно $E\Delta B = \sum P^i * \Delta B_i = 6,74$, где i – точки разбиения интервала.

Надежность системы на данном интервале равна $H = 1 - \frac{E\Delta B}{B} = 1 - 6,74 / 157,4 = 0,957$.

Она может быть повышена благодаря мероприятиям по обеспечению роста маневренности системы, а именно по наращиванию пропускных способностей действующих газопроводов, являющихся лимитирующими в ситуации отказа от строительства газопроводов. Признаком того, что газопроводы являются лимитирующими, служат большие двойственные оценки ограничений по пропускным способностям газопроводов. В этих случаях интенсивность использования пропускной способности выходит на верхнюю границу. В нашей задаче такими оказались газопроводы, приведенные в табл. 5.18, они имеют ненулевые двойственные оценки по ограничениям на пропускную способность.

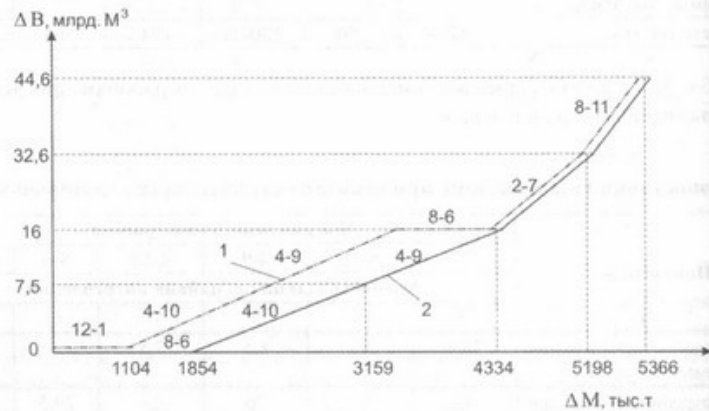


Рис. 5.3. Стратегии разгрузки для проектируемых газопроводов.
1 – без учета маневров; 2 – с учетом маневров

Таблица 5.18

Двойственные оценки ограничений по пропускным способностям газопроводов

№ газопровода	Двойственная оценка ограничений на пропускную способность
2-7	23,5
3-9	17,0
4-10	20,5
5-6	5,3
8-6	8,0
8-7	19,7
8-9	21,0
12-6	7,5

Таким образом, построенная стратегия разгрузки с учетом маневров газопроводной сети отражает наилучшую последовательность отказа от строительства запланированных газопроводов с точки зрения обеспечения данной системой максимальной надежности газоснабжения.