

Глава 2.

и- жимых целей (в том числе и диалоговых карт решений) при разработке экологических стратегий. Многокритериальный подход е- нен в задачах охраны окружающей среды, которые отличаются сложной структурой и требованием того, чтобы реш различных социальных и политических групп. Таким образом, эти задачи являются характерным примером проблем, требующих многосторо анализа.

Основное внимание уделяется компьютерным системам, помог ю- о- логических проблемах, начиная от региональных и кончая межстрановы- ми и глобальными. В тех случаях, компьютерные системы, приводятся основные черты этих систем и обсу- ждается опыт их применения. В тех же сл чаях, когда проводятся мето- дологические исследования, мы демон о- вания метода достижимых целей в рассматриваемых задачах.

а- выработки стратегий, не затрагивая технические проблемы реализации этих систем. Более того, для жения мы, как правило, не делей, а лишь кратко характер у- ем их.

2.1. Анализ проблем загрязнения океанического залива

стратегий уменьшения загрязнения морского или океанического залива. Рассматривается вопрос о загрязнении, возникающем в р т- в воды залива твердых отходов (илов), возника т- ки стоков коммунальных водохозяйственных систем. Как известно, сточ- ы проходят механическую, а затем и биологическую очистку. Осадок отстойников, являющихся одним из средств механической очист- ки стоков, и избыточный активный ил, возникающий в процессе биологи-

ческой очистки, обрабатываются и частично обеззараживаются, после-то месте. Имеются две основные возможности складирования илов: закапывание на суше и сбрасывание в моря или океаны. Оба способа порождают экологические проблемы: в первом случае загрязняются подземные воды, а во втором – океаны.

В данном параграфе мы ограничиваемся конкретной проблемой, связанной с выбором мест сброса илов в океан, а именно задачей размещения илов, накапливающихся в системах водоочистки Нью-Йоркских окрестностей. С давних пор проблема вывоза илов из густонаселенных

окрестностей океан. В течение долгих лет влияние этого сброса на состояние вод вблизи побережья было умеренным и не вызывало опасений. В последнее время, однако, встал вопрос о переносе сброса на другие берега места. Поэтому возникла задача выбора надлежащих мест сброса

и стоимостью транспортировки илов. Для анализа этой проблемы и

Задача состоит в следующем: требуется выбрать такие пункты сброса илов, чтобы концентрация загрязнителей в точках мониторинга, расположенных в наиболее загрязненных зонах залива, не была слишком высока. При этом учитываются экологические, социальные и экономические факторы, связанные с изменением качества воды.

Таким образом, проблема выбора стратегии сброса является характерным примером задачи, требующей системного подхода. Она связана с существенными затратами, сложной структурой, многими показателями оценки результатов решения. При оценке стратегий

участия различных групп, а также и общественное мнение. По этой причине процесс выбора стратегии направлен не на автоматический выбор стратегии, а на выработку такой стратегии, которая поможет всем, кто интересуется решением этой проблемы, лучше понять ситуацию и найти компромиссную стратегию.

Постановка задачи и описание математической модели.

Проблема Нью-Йоркского залива стоит довольно давно, о

1

технической рабочей группы по исследованию операций, которая финансировалась Академиями наук обеих стран. С финской стороны в ней участвовали проф. Ю. Валлениус и проф. Х. Валлениус из Эспоо, Финляндия, и г. Хельсинки.

ное мнение особенно волнует влияние пункта сброса илов, н-го в 12 милях от берега (см. рис. 1.1).

В 80-е годы публику будоражили различные истории, связанные с сильным загрязнением в районе этого пункта. Это были, в частности, -за недостатка растворенного в воде кислорода,

загрязнения, периодические выбросы загрязнения на пляжи Лонг-Айленда и т.д. Попытки разработать другие страт

низационные сложности. В частности, альтернативные пред-

ения, проживающего на территории, где предполагалось размещение.

и-вающимся загрязнением, Агент

США в 1985 г. обязало власти лей 12-

илов в 106-мильный пункт. Это, однако, превышало возможности ных властей. В данном исследовании а-

ботать стратегии, альтернатив

106-мильный пункт, на основе

нескольким пунктам. Рассмотрение рнативных пункта сброса илов: 12-мильный пункт, два пункта на расстоянии 60 миль от берега (северный и южный) и пункт в 106 милях от берега. Предполагается, что все эти четыре пункта могут зоваться одновременно. Предполагается также, что илы вывозятся -Йорка (52% от общего объема), Нью-Джерси (41%) и Лонг-Айленда (7%). Объем вывоза илов считается постоянным. Для вывоза илов используется два вида судов: буксируемые баржи (всего 9 барж) и самоходные баржи (4 баржи). Предполагается, что все суда ходят к меской.

распространения загрязнения в водной среде. Эта модель позволила

илов между пунктами сброса, т.е. рассчитывать средние кон

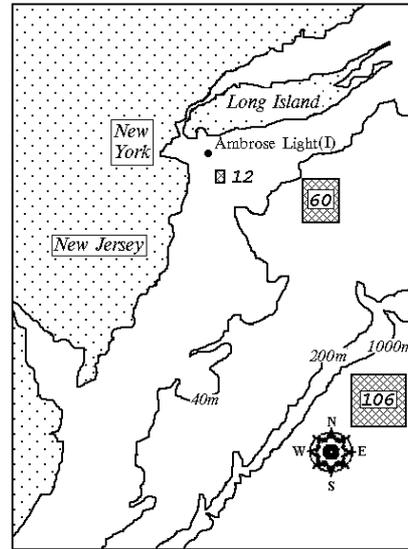


Рис. 1.1

загрязнения в точках мониторинга. Дл

са, была разработана упрощенная интегрированная модель. Эта модель включала в себя, в частности, матрицу переноса загрязнения, построенную на основе анализа стохастической модели распространения загрязнения. зывает, какая средняя концентрация загрязнения реализуется в заданной точке залива, если интенсивность деленном пункте сброса будет единичной. В целом эта

сброса. Матрица переноса оказывается особенно удобной в том случае, когда интенсивность сброса не задана, что требуется при выработке разумной стратегии сброса илов.

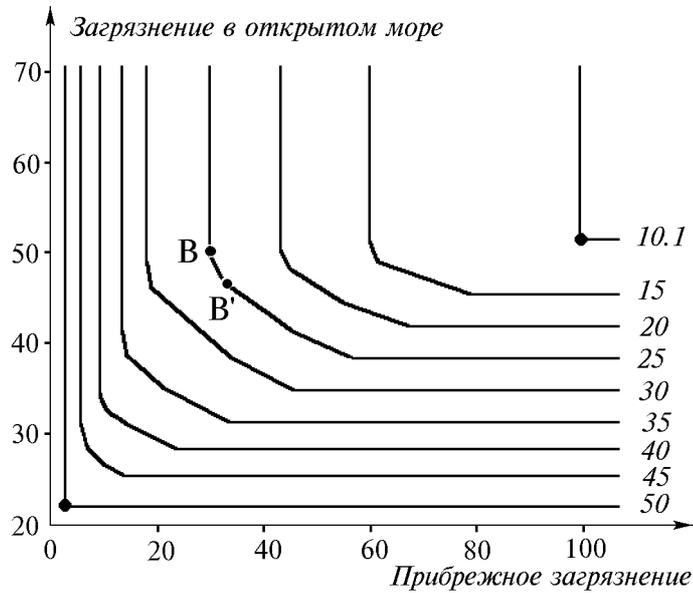


Рис. 1.2

полняется:

- ограничениями, гарантирующими, что все илы будут вывезены;
- ограничениями, связанными с объемом барж;
- соотношениями для расчета количества илов, ж-дом из пунктов;
- соотношениями для расчета стоимости операции.

В исследовании было использовано три критерия:

загрязнениями. При этом форма кривой зависит от стоимости.

Сравним расстояния между границами, соответствующими соседним значениям стоимости, выбранным с одинаковым шагом в 5 млн. долларов. Расстояние между границами для 10.1 и 15 млн. относительно велико, в то время как расстояние между границами для 15 и 20 млн. заметно меньше. Это означает, что первые дополнительные 5 млн. приводят в целом к более значительному уменьшению загрязнения, чем следующие 5 млн. Этот факт соответствует широко известному явлению

нормальности дополнительных затрат. На изображениях сечений данное свойство проявляется наглядно. Значительное

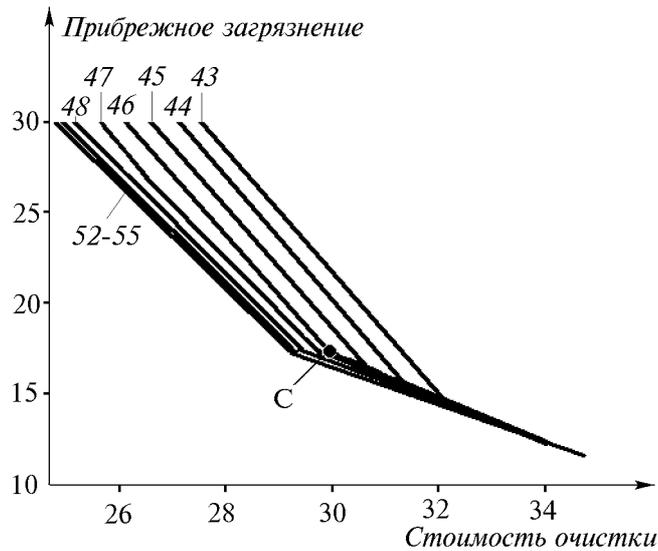


Рис 1.4

эффективности затрат можно по рис. 1.3, где сечения ОЭП того же множества достижимых целей даны в другом ракурсе. Здесь изображена

мониторинга, расположенной вблизи побережья (при различных значениях загрязнения в точке мониторинга, рас побережья). Значения загрязнения вдали от побережья обозначены около каждой границы. Они изменяются от 25 до 55%. Этот диапазон был выбран на основе изучения рис. 1.2, из которого ясно, что

брать именно в этом диапазоне.

При взгляде на рис.1.3 сразу видно, что каждая кривая объекта замещения между стоимостью и прибрежным загрязнением имеет излом, я-ми. На сечении, соответствующем 55% загрязнения вдали от побережья, очка А.

Как и следовало ожидать, при увеличении загрязнения вдали от побережья кривая сдвигается влево, в сторону уменьшения стоимости. При этом также заметно уменьшение “эффективности” роста загрязнения вдали от берега: если его рост с 25 до 30% приводит к уменьшению стоимости примерно на 10 млн., то рост с 50 до 55% к уменьшению затрат не приводит. Так, точка А также принадлежит сечению, соответствующему жья в 50%. Заметим, что она уже не принадлежит сечению, соответствующему 45%. Это означает, что загрязнение вдали от побережья может быть снижено с 55 до 50% без дополнительных затрат. Из карты решений видно, что это примерно верно для всех стоимостей и загрязнений около побережья.

Для исследования кривых объективного замещения вблизи точки А можно изобразить часть рис. 1.3 в укрупненном виде (см. рис. 1.4). На рис. 1.4 границы сечений ОЭП изображены более подробно. Зн

нию от 43 до 55% с шагом в 1%. На этом рисунке уменьшение “эффективности” роста но: при его росте от 52 до 55% недоминируемые границы для сечений ОЭП практически совпадают. Поэтому может представлять интерес, например, достижимая цель, хаем значений критериев: стоимостью в 30 млн., загрязнением около побережья – 17.5%, загрязнением вдали от – 46% (точка С). Маршруты движения барж, приводящие к этой цели, автоматически рассчитываются компьютером: решение состоит в том, что все илы следует сбрасывать на расстоянии 60 миль от берега. Конечно, реальный пользователь может выбрать другую цель, в этом случае он получит другую стратегию.

2.2. Разработка стратегий развития

экономической модели. Это исследование является практиче

о-
-
о-

шением идей, изложенных в при анализе условного у-

Описание проблемы. Рассматривается небольшая область (область Пиил в Нидерландах) площадью около 30 тыс. гектаров. Выбор этого региона был обусловлен наличием информации, подг товленной в форме, нения МДЦ.

пунктов, а также скотоводческие и растениеводческие хозяйства. Ландшафт области разнообразен, в нем чередуются возвыше и низменности, различающиеся качеством почвы. Территория обл покрыта сетью дорог и оросительных каналов. Сельское хозяйство специализируется на выращивании мясного скота, свиней и птицы. Расте- а- ми. Кроме того, в области распро транено товарное овощеводство. На а- нические и минеральные удобрения. Вода для хозяйственных нужд по- ностных водоемов, так и из скважин. Для обеспече- вод, досту ные через артезианские колодцы.

к нежелательным последствиям: падению уровня грунтовых вод и к ухудшению качества питьевой воды. Существенное пониж

заповедных природных зонах, расположенных на те ритории области, а б- б- ласти. Кроме того, просачивание загрязненных нитратами вод в глубокие слои почвы может привести к ухудшению качества питьевой воды.

стем, ни с точки зрения качества питьевой воды. Однако при расш т- жно возникнут.

образом, чтобы обеспечить эффективность пр не нарушать экологическое равновесие в заповедных зонах, а также обеспечить высокое качество воды, и б- скохозяйственных нужд. Это требует тщательного изучения эколого- ства.

² Работа выполнена в рамках проекта “Региональные водохозяйственные стратегии” Международного института прикладного системного анализа (Лак - бург, Австрия) [74]. Авторы хотели бы выразить благодарность С.А.Ор - скому, который руководил этим проектом МИПСА.

ресурсов (Нидерланды) была разработана подробная нелинейная модель. Из-за сложности этой модели, расчеты падения осадков загрязнителей. Для того чтобы

его развития региона, исходная модель динамики грунтовых вод была линеаризована. При этом были построены матрицы влияния, показывающие, как заборы грунтовых вод влияют на их уровень, а выбросы загрязнителей – на качество грунтовых вод. В МИПСА эта упрощенная модель является основой сельскохозяйственного производства. На основе такой информации, разработаны

определены варианты, а решения исследовались на их экологическую приемлемость. Более глубо-

ДЦ.

Описание модели. Область была разбита на пять районов (см. рис. 2.1). Три из них – исходные зоны, и их экологические характеристики особенно важны (на рисунке они помечены буквой N). При-

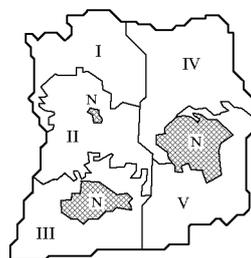


Рис. 2.1

именно набором технологий, характерных для растениеводства или животноводства. Урожайность культур зависит от плодородия почвы, ее качества и количества внесенных удобрений. Содержание воды в почве определяется капиллярным подъемом грунтовых вод, орошением из поверхностных и грунтовых вод, а также атмосферными осадками. В модели учитывается просачивание поверхностных вод в землю, изменение уровней грунтовых вод в зависимости от их заборов. Животноводство в области подразделяется на привязное, пастбищное и птицеводство. Каждый вид животноводства характеризуется набором технологий, характерных для растениеводства, интенсивностью потребления воды, а также количеством навоза, загрязненностью и местом хранения отходов. В модели учитываются трудовые ресурсы, затраты на изменение структуры размещения производства, а также транспортные затраты внутри области. Выбор стратегии развития растениеводства и животноводства. В дальнейшем региональные

гают стимулировать производителей, придерживающихся технологий, через налоговые льготы.

– экономические и экологические. Один из
– объем инвестиций (I), направляемых на расширение сельскохозяйственного производства и изменения его структуры,
– изменение чистого дохода (W) в результате осуществления инвестиций. Напомним, что под чистым доходом имеется в виду разность

заданных значениях остальных показателей. О

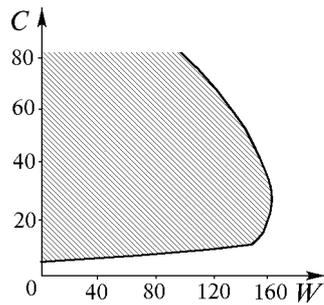


Рис. 2.2

ателя измеряются в миллионах флоринов, 1 доллар США примерно соо 1.7 флорина.

вод (h), измеряемый в сантиметрах. В

ния в трех природных зонах области. Эта

него периода, во время которого хозяй-

сивна, а падение уровня г

наиболее значительно. Другим эколог
затель концентрации нитратов в глубоких слоях грунтовых вод (C), изме
граммах на литр. Ясно, что значения обоих экологиче
раться уменьшить.

Мы дали беглое описание модели, которая более подробно оп
[74]. В целом модель была довольно громоздка: в ней насч тывалось 460
переменных и 672 ограничения. Величина инвестиций была ограничена

I_{\max} в 250 млн. флоринов, вел

– h_{\max} , равным 20 см.

Исследование компромиссов и поиск стратегий.

результаты исследования множества достижимых целей. Поскольку паде
ние уровня грунтовых вод предпочтительно уменьшать, была рассмотре
рию. Благодаря

сто.

До сих пор мы рассматривали не более чем три критерия. В да
задаче рассматриваются четыре критерия. В этом случае, для тог

риев, требуется

зафиксировать значения двух других критериев.

На рис. 2.2 изображено сечение ЧОЭП в координатах увеличения дохода W и загрязнения воды C . Для двух других критериев взяты их максимумы $I = I_{\max}$, $h = h_{\max}$. Поскольку предпочтение отдается увеличению дохода и уменьшению загрязнения, то разумно рассмотреть “юго-восточную” границу сечения. Когда прирост дохода отсутствует, то уже имеется исходная концентрация нитратов в 8 мг/л. Сначала с увеличением дохода рост загрязнения на “юго-восточной” границе не очень велик. Затем, при приближении к 164 млн. флоринов, имеется излом границы, в результате чего загрязнение от дохода резко меняется. При дальнейшем достижимом значении дохода в 164 млн. флоринов концентрация нитратов достигает величины 25 мг/л. Другая (“северо-восточная”) граница не представляет интереса – она показывает лишь незначительные

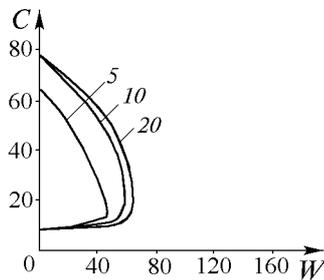


Рис. 2.3

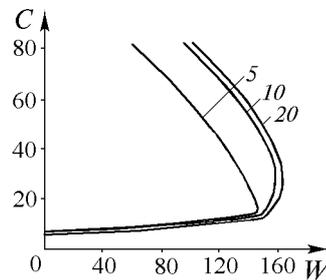


Рис.2.4

Как уже говорилось в гл. 1, единственное сечение множества достижимых целей не дает представления о том, проходит сечение через его недоминируемую границу или нет. То же самое верно для ЧОЭП. Для

целый набор сечений ЧОЭП. Именно так мы поступаем на рис. 2.3 – 2.7. Рассмотрим рис. 2.3 и 2.4. На них изображены границы сечений тех же координатах, что и на рис.2.2. Падение граунта несколько значений. На рис. 2.3 инвестиции нулевые, а на рис. 2.4 имеем $I = I_{\max}$. Заметим, что наиболее широкое из этих сечений уже было изображено ранее на рис. 2.2.

Как видим, качественно границы сечений имеют одну и ту же форму. Более того, при изменении значений h границы сечений (как недоминируемые, так и доминируемые) как бы сдвигаются. При пересечении, то проанализировать рассматриваемый сечение можно довольно легко. Прежде всего отметим, что осуществление роста дохода связано и падение уровня грунтовых вод. Это позволяет

предположить, что рассматриваются сечения ЧОЭП, проходящие через недоминируемую границу этого множества. Так же как и на рис. 2.2, границы характеризуются наличием излома, зависящего от объема инвестиционных вод.

вывод: рост дохода до определенного уровня не должен приводить (при разумном выборе проектов) к резкому увеличению загрязнения; только при превышении этого уровня начинается резкий рост загрязнения. Для оптимальных величин критериев, которые могут быть получены в результате развития сельского хозяйства в регионе. На основе рис. 2.3 и 2.4 можно отметить, что и между этими величинами и уровнем грунтовых вод. Так, с увеличением падения грунтовых вод с 5 до 10 см возможности производства резко растут. В то же время, дополнительный рост этой величины с 10 до 20 см практически никакой пользы не приносит. Отметим также, что

— а-
твующих фондов.

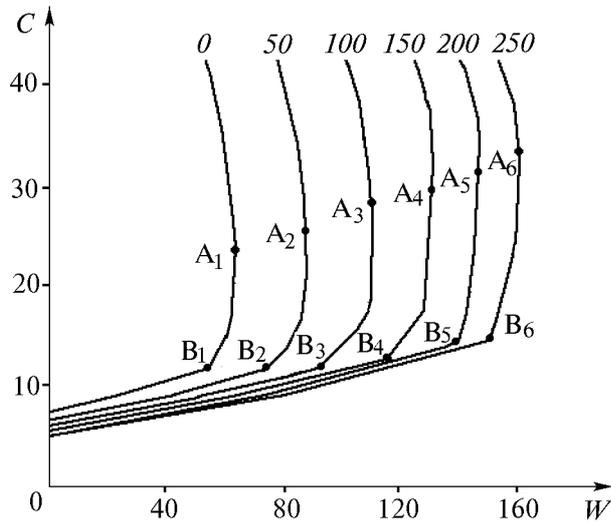


Рис. 2.5

компромиссы между доходом и загрязнением. На рис. 2.5 в части границ сечений в тех же координатах, что и ранее, но при различ-

грунтовых вод в 20 см. Как видно, форма сечения не зависит от объема инвестиций, но границы изменяются. В час ности, сдвигается излом гра-
цы.

Рассмотрим точки излома границы B_1, B_2, \dots, B_6 , в которых им
и-
тельно небольшом росте дохода. Сравним эти точки с точк
и-
– с точками A_1, A_2, \dots, A_6 . Прежде
всего отметим, что положение точек максимал ного дохода (крайних
точек “ –восточной” границы сечения) не стойчиво: небольшое изме-
нить наклон границы, вследствие
и-
кальной оси. В параграфе 1.1 уже обсуждался вопрос о неустойчивости
недоминируемой границы. Здесь мы получили пример такой неустойчи-
вости. Заметим, что п
довольно часто. Именно поэтому надо не ограничиваться недоминируе-
мой границей, а показать все сечение множества достижимых целей (или
–Парето).

Только взглянув на рис. 2.5, пользователь сразу поймет, что пр ы-
но. По-
е-
ского значения не имеет. Рис. 2.3 и 2.4 показывают, что такое утвержде-
вод. Таким образом, стремление к максимальному доходу при фиксиро-

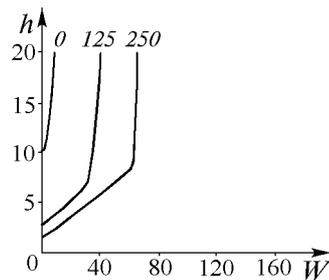


Рис. 2.6

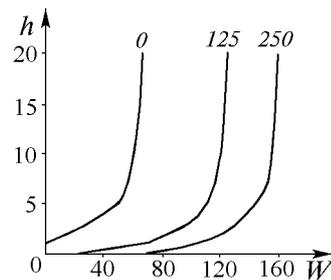


Рис. 2.7

ванных инвестициях неразумно: оно приводит к р
е-
ния. Относительно небольшие уступки по величине дохода позволяют
блему.

Подчеркнем, что мы здесь не настаиваем на выборе одной из т
– может быть, загрязнение следует еще уменьшить. Рис. 2.5 толь-
ко информирует о том, как два рассматриваемых крит
собой, т.е. выбор цели на границе с доходом большим, чем в точке изло-
ма, нецелесообразен.

На рис. 2.6 изображены сечения x : на го-
 W , а на верти-
– h . Для каждой серии выбраны
три уровня инвестиций, указанные на рисунке. На рис. 2.6 загрязнение
минимально и равно 8 мг/л, а на рис. 2.7 оно равно 25 мг/л.

Сразу видно, что сечения рис. 2.6 не касаются горизонтальной оси,
т.е. требование минимального загрязнения влечет падение уровня
грунтовых вод при любых инвестициях и любом доходе. Кроме того,
горизонтальной оси, т.е. при отсутствии инвестиций нельзя обеспечить
тественном уровне (только за счет
зования имеющихся основных фондов).
Таким образом, только существенный объем инвестиций позволяет
ми.

е-
мы. Кроме того, для различных сочетаний критериев (например, для то-
чек В1, В2,..., В6 на рис. 2.5) можно было бы ра-
тегии, при-
водящие к этим результатам, и обсудить их. Это дало бы новый материал
о-
не. Мы здесь этого делать не станем из-
описания стратегий (см. [74]).

Заключение.

о-
логической обстановки. Главный вывод, который может быть сделан при
этом, заключается в следующем. За счет небольших дополнительных
нвестиций и разумного размещения хозяйства уровень дохода, близкий к
максимальному, может быть достигнут при сохранении природы. Это
тему области как устойчивую. Таким
образом, она отличается от системы, рассмотренной в главе 1, где при
ции уровень озера снижался настолько сильно,
что оно уже не могло быть использовано для отдыха.

2.3. Система поддержки проектирования

В данном параграфе описывается компьютерная система, пред-
н-
к-
тов. Система основана на построении и визуализации диалоговых карт
решений, используемых для того, чтобы изучить объективное замещение
между стоимостью проектов и критериями качества воды. Эта информа-
о-

гии очистки стоков, позв
ружающей среды, и

к-
ний.

Введение.

для большинства рек России. При этом необходимо эффективно использо-
зовать капиталовложения, выделяемые на охрану природы. Более того,
чтобы получить даже небольшое количество средств на эти цели, специа-
н-
торам (а в их число в на-
ные, так и региональные орга-
ны власти, а также руководители или собственники предприятий), что эти
средства помогут значительно улучшить состояние окружающей среды.

е-
а-
ций по размещению оборудования, предназначенного для очистки стоков
ства, расположенных
вдоль рассматриваемой реки, и по выбору технологии очистки. Такая

венного строительства (Росгипроводхоз).

оптимизационный подход, в рамках которого применяются компьютер-
е-
ления капиталовложений и выбора технологий. В рассматриваемом нами
случае методы оптимизации применялись для того, чтобы на основе ма-
й-
ти план мероприятий, имеющий м

а-
ний. Трудность состояла в том, что проекты, найденные на основе опти-
логии, были очень дороги даже для ситуации 80-
годов и, тем более, не могут быть реализованы в настоящее время. Кроме
того, зача тую просто не существовало решения, удовлетворяющего всем
ничениям. Поэтому специалистам по качеству воды приходилось на
бственного опыта корректировать оптимальные проекты, ис-
ключая из них часть намечавшихся мероприятий. Разрабатыва

критике. Эти обстоятельства привели к тому, что традиц о-
е-
приемлемой. Потребовалось разработать новый подход к проблеме про-
ектирования водоохраных мероприятий, излагаемый далее в данном

3

ное участие принимала инженер института Росгипроводхоз А.П.Норкина.

в-

В рамках нового подхода мероприятия, направленные на улучшение качества воды, разбиваются на две фазы:

- a) расчет эффективного использования капиталовложений, который получается в процессе переговоров с потенциальными инвесторами;
- b) качества воды в реке.

МДЦ используется в рамках первой фазы, состоящей в многокритериальном исследовании проблемы. Наряду с критерием минимальных затрат, рассматриваются несколько критериев качества воды. Многокритериальный анализ основан на использовании ДКР.

Описание модели. Адекватная математическая модель, которая могла бы полностью описать изучаемую проблему, должна была бы включать различных типов, а также детальное описание переноса различных загрязнителей вдоль реки с учетом особенностей рельефа русла реки, различных режимов стока и т.д. Такие модели разрабатываются, но, как обычно, они пригодны лишь для вариантных расчетов,

очистки. Более того, данные, необходимые для подробных моделей, не надежны или их вообще не удается собрать. Поэтому подробные модели разрабатываются для целостного рассмотрения проблемы, в

ных.

ная модель. Рассматриваемая река разбивается на конечное число участков (створов). В нижней части каждого створа находится гидрологический пункт, в котором измеряются, в частности, концентрации загрязняющих веществ. Промышленные предприятия сгруппированы в отрасли, а коммунальные службы. Обычно рассматривается около 20 предприятий сельского хозяйства. Кроме того, предприятия сгруппированы по створам, в которых они находятся.

Математическая модель состоит из двух частей:

- a) модель переноса загрязнителей, дающая возможность вычислять концентрации;
- b) модель очистки стоков, связывающая уменьшение выбросов загрязнителей с уменьшением выбросов.

(матрицу влияния), связывающую выброс загрязнителей в ка

створов и концентрацию загрязнителей в гидрологических пунктах. Эта модель не учитывает, например, запаздывания при распространении за длительный период времени.

стоков. Наиболее пригодной оказалась модель, в которой рассматривалась совокупность возможных технологий очистки, а задача состояла в выборе долей стоков, которые будут очищены по той или иной технологии.

проекта, т.е. принимаемое решение, в модели описывается переменными, характеризующими распределение капиталовложений между створами, между отраслями внутри каждого створа, а также между различными технологиями очистки для каждой отрасли. О

та, остальные критерии

ке.

Обычно рассматривается более 20 типов загрязняющих веществ, по

нения.

о-

пустимой концентрации загрязнителя, которая определена медицинскими или экологическими требованиями (предельно допустимая концентрация в нормативном подходе). Понятие предельно допустимой концентрации поносительной концентрации загрязнителя, опре-

и-

и-

пустимой.

е-

ли разбиваются на группы. Показатель равняется сумме отн концентрации загрязнителей, входящих в группу. Такой показатель среди а- телем вредности для группы загрязнителей. В настоящее время в сис- нителей, разработанные спе- циалистами института Росгипроводхоз. В связи с этим, в качестве харак-

показателя вредности, которые имеют следующие условные названия:

- санитарный,
- токсикологический,
- рыбохозяйственный,
- общий.

-

ности, причем идеальным значением показателя является единица. В

и-

к-

тов. Таким образом, сейчас в системе рассматриваются четыре экологи-

ческих критерия: санитарный, токсикологический, рыбохозяйственный и общий.

Важно подчеркнуть, что модель, реализованная в последнее время, отражает пожелания и возможности специалистов по качеству воды института Росгипроводхоз. В частности, эти специфические данные по матрице влияния и технологиям очистки стоков. Эта модель является одним из возможных примеров моделей, которые могут быть использованы в системе. Нетрудно заменить эту модель любой другой линейной моделью. Более того, имеются и нелинейные модели с конечным числом альтернатив.

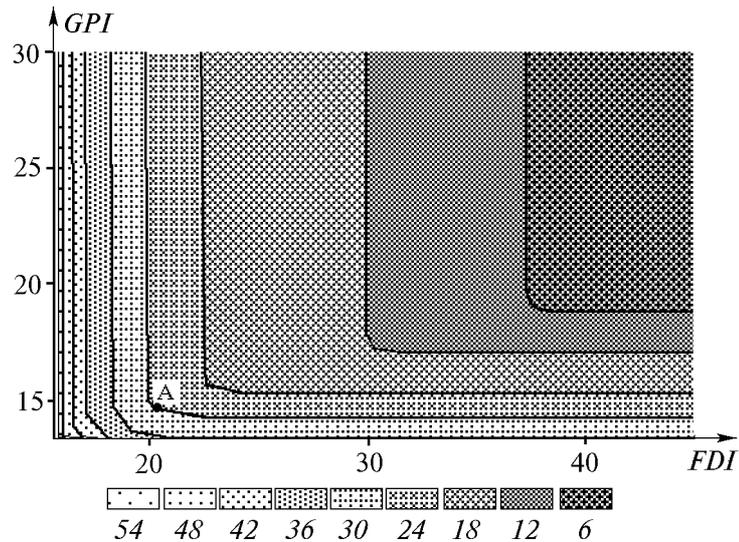


Рис. 3.1

ых критериев. Итак, в нашем исследовании рассматривается пять критериев: стоимость проекта и четыре экологических критерия, перечисленных выше. Начнем анализ с уже привычного случая трех критериев: стоимости проекта, а также р общего показателя загрязнения. При этом будем предполагать, что на значения двух оставшихся критериев (санитарного и токсикологического) не влияют.

Рассмотрим карту решений (рис. 3.1) в координатах рыбохозяйственного показателя (*FDI*) и общего показателя (*GPI*) при нескольких вариантах значений стоимости проекта (в миллионах рублей 1988 г.). Соответствие стоимости и штриховки приведено под картой решений. Ясно, что представляет интерес уменьшение значения показателя загрязнения. Мы видим, что кривая объе

лишь малую часть границы сечения, так что в первом приближении наименьшие, достижимые при данных затратах. Так, за 6 млн. рублей рыбохозяйственный показатель может быть уменьшен примерно до 37 единиц, а – до 19 единиц. Если же затраты увеличить до 12 млн. рублей, то показатели могут быть уменьшены примерно до 28 и 17 единиц соответственно. Далее, увеличивая затраты до 18 млн. рублей, мы имеем уже 23 и 15 единиц. В дальнейшем эффективность дополнительных капиталовложений резко падает: при затратах в 24 млн. рублей име-

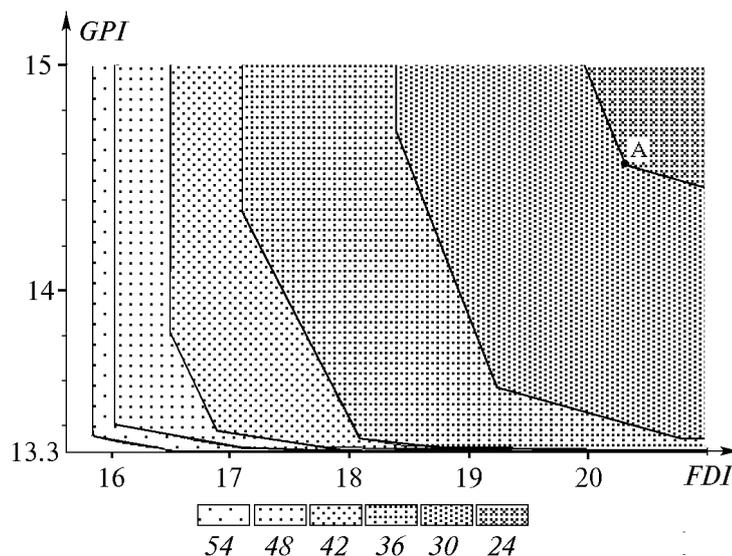


Рис. 3.2

ет минимальную величину рыбохозяйственного показателя около 20 единиц, а общего показателя – около 14 единиц. При дальнейшем росте затрат загрязнение падает еще медленнее.

Начиная с затрат в 24 млн. рублей становится заметной кривая замещения между двумя показателями загрязнения. Поскольку на рис. 3.1 кривые замещения видны недостаточно хорошо, покажем часть карты в увеличенном виде, выбрав диапазон рыбохозяйстве минимума до 21 единицы, а общего показателя – от минимума до 15 единиц (с помощью ДКР это можно сделать ментально).

Новая карта изображена на рис. 3.2. Последствия увеличения показаны в подробностях. В частности, выбранные значения показателей достижимы при затратах не менее 24 млн. рублей. При этом отчетливо видно объективное замещение между показателями загрязнения, едва

заметное на исходной карте решений. Интересно, что уже при затратах в 30 млн. рублей почти достигается минимал а-
 теля. При дальнейшем увеличении за а-
 зателя, причем наглядно видно, как пада-

гой. Объективное замещение одного критерия другим также заметно на рис. 3.2 в деталях. Так, хорошо заметен излом замещения в точке А, мало заметный на рис. 3.1.

Анализ ДКР для пяти критериев.

карты решений только для трех критериев. Что же можно предпринять, если число критериев равно четырем, пяти и т.д.?

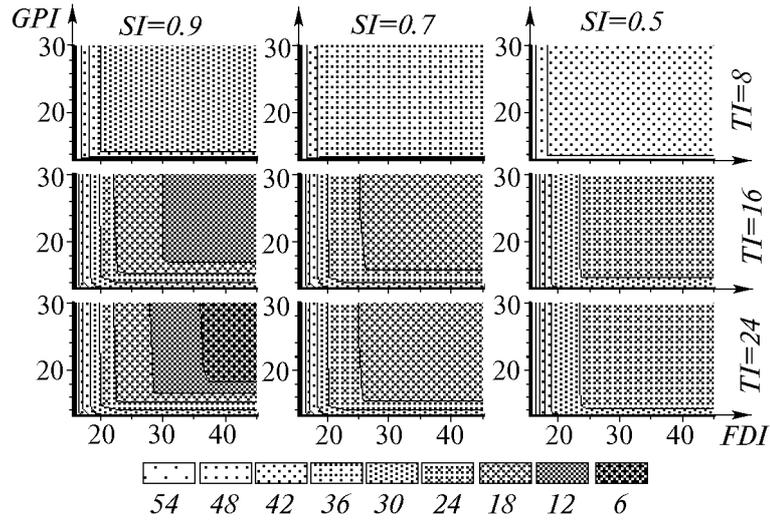


Рис. 3.3

Пусть для начала число критериев равно четырем (например, мы задаем ограничение на значение четвертого показателя, получаем обычную карту решений, приведенную, например, на рис. 3.1. При монотонном усилении или ослаблении, которую можно представить исследователю, расположив карты на экране. Число карт в строке зависит от разрешающей способности монитора. При этом ограничения, накладываемые на значение четвертого критерия, могут быть заданы либо пользователем.

т.е. компьютерной анимации карты решений (в виде мультипликационной последовательности рисунков, создающих фильм, не запомина-

ется заранее, а генерируется из построенной ОЭП по заказу исследователя. Мы лишены возможности продемонстрировать это на страницах книги.

В случае пяти критериев (например, добавляется токсикологический критерий) для того, чтобы получить одну карту решений, требуется задать значения критериев. Задав значения критериев, можно получить и изобразить целую матрицу карт решений (см. рис. 3.3).

SI (его значение дано над столбцом), а для TI (его значение дано справа от строки). Сравнивая карты решений, скомпонованные в матрицу, можно понять, что происходит при замещении между первыми тремя критериями. Конечно, для этого надо рассмотреть матрицу целиком.

Рассмотрим рис. 3.3 подробнее. Начнем с карты в левом нижнем углу. Здесь значение TI не больше 24 единиц, а значение SI не больше 0.9 единиц. Как видно, эти значения показателей TI и SI достигаются уже при затратах в 6 млн. рублей (самая темная штриховка), но при этом величина рыбохозяйственного показателя будет не менее 37 единиц, а SI – не менее 18 единиц. По этой карте легко понять,

– этот вопрос мы уже обсуждали.

Сравним эту карту с другими картами в том же столбце. Ограничение TI усиливается при движении по столбцу вверх. На верхнем рисунке, где значение TI не превосходит 8 единиц, минимальные затраты уже составляют 30 млн. рублей (и это при значениях показателей, представленных на осях: FDI – 20 единиц и GPI – 14.5). На средней карте, где значение TI повышается до 16 единиц, достаточно уже 20 млн. рублей для того, чтобы уменьшить рыбохозяйственный показатель FDI до 16 единиц. Минимальные затраты получены из сравнения карт этого столбца.

Теперь сравним карты решений в верхней строке. Все они соответствуют ограничению на SI в 8 единиц, а ограничение на TI усиливается при движении слева направо. Сравним минимальные затраты на этих картах:

- a) SI не более 0.9 – затраты не менее 30 млн. рублей,
 - b) SI не более 0.7 – затраты не менее 36 млн. рублей,
 - c) SI не более 0.5 – затраты не менее 42 млн. рублей.
- $SI=0.9$ вполне удовлетворительна, не имеет смысла снижать ее.

столбца в другие.

Можно было бы очень долго обсуждать свойства ситуации, представленные на рис. 3.3. Мы не станем этого делать, заметим лишь, что компьютером автоматически, с помощью этих показателей. Исследователь может легко выбрать другие значения. Далее, число карт решений в

полиграфии. Даже на персональном компьютере с монитором VGA можно было взять матрицу карт решений размером, скажем, одиннадцать на двенадцать. В любом случае, исследователь легко обнаруживает влияние ограничений, накладываемых на процесс, на структуру карты решений. Более того, в качестве четве

рих и- шений. Эта новая матрица с тем, что ОЭП была построена заранее.

Проанализировав матрицу карт решений, исследователь может выбрать одну из карт (например, левую нижнюю карту матрицы на рис. 3.3, которая изображена на рис. 3.1). При этом он фиксирует значения четвертого и пятого критериев. Далее процесс совпадает с работой с картой для случая трех критериев: изучив объективное замещение, он выбирает допустимую целевую точку, а далее ав- риятий, приводящий к выбранной целевой точке, т.е. имеющий вы- тому, что значения показателей загрязнения во всех створах реки не превышают зафиксированные пользователем значения.

Описание системы.

из шести основных подсистем:

- a) подсистемы подготовки исходных данных,
- b) подсистемы построения ОЭП,
- c) подсистемы визуального исследования ДКР,
- d) подсистемы расчета решения,
- e) подсистемы визуализации решения,
- f) подсистемы подготовки выходной информации.

Прежде всего, пользователь системы подготавливает исходные данные для исследования: информацию о водном балансе реки и ее притоков, о концентрациях загрязняющих веществ, о возможных параметрах очистных сооружений и т.д. Данные должны быть пре- совокупности файлов, которые подготавливаются в любом текстовом редакторе. Такая форма представления данных в файлах выбрана в соответствии с пожеланиями специалистов, которые использовали систему.

О- ванность и, в случае отсутствия ошибок, подготавливает файлы, необходимых подсистем. В настоящее время разработанный вариант этой подсистемы, основанный на

темы (ГИС).

и-

чески.

В тоже время, специалист имеет возможность прервать процесс до того, как будет достигнута желаемая точность аппроксимации ОЭП. Эта возможность используется на начальном этапе исследования, когда еще нет уверенности в том, что исходные данные не содержат ошибок. Визуальный анализ даже весьма грубо позволяет проконтролировать наличие ошибок в исходных данных.

были описаны в предыдущем разделе, поэтому здесь мы на них останавливаться не будем. Скажем лишь, что пользователь имеет возможность

критерии, а также ограничения на значения оптимальных критериев. Кроме того, он имеет возможность сузить исходные критерии.

и-

жимых целей, и система автоматически входит в подсистему расчета решения. Расчет решения, реализующего выбранную целевую точку, обычно занимает не более нескольких минут. Подсистема визуализации решения изображает решение, полученное в предыдущем блоке, в виде обычных столбчатых диаграмм. В таком виде представляется распределение капиталовложений, а также концы стоков по створам. Эти диаграммы могут быть наложены на карту бассейна реки, которые укажет пользователь. Более того, информация, относящаяся к данной реке. Таким образом, эту подсистему можно рассматривать как вспомогательного назначения. Поскольку исходные данные для описываемой системы могут быть получены из ГИС, возникает проблема полноты, состоящей из ГИС, имитационной системы моделирования реки как системы.

лиц, традиционно используемых в планировании природоохранных мероприятий. Кроме того, с помощью снятия копий с экрана компьютера, имеется возможность некоторых характерных кривых объективного замещения, полученных в процессе анализа ДКР. Эти копии, наряду с таблицами и диаграммами, характеризующими несколько вариантов проекта, представляются для лиц, принимающих решения о выделении капиталовложений. Специалисты надеются получить финансовые средства, достаточные для заметных

финансовых ресурсов, направляемых на уменьшение выбросов в атмосферу. Затраты, необходимые для уменьшения эмиссии загрязнителей, крайне велики, они составляют миллиарды долларов, поэтому эффективное использование этих средств крайне важно. С другой стороны, эффек-

части средств от одной страны к другой. Ясно, б-
-доноре, но и может быть сопряжено с
ля над данными средствами. Где и как использовать
ограниченные ресурсы для того, чтобы был достигнут максимальный
эффект, и в то же время выбранный вариант был приемлемым с политиче-
ской и организационной точек зрения?

Подобные вопросы заслуживают детального анализа, в том числе
использованием компьютерных средств. В данном параграфе описываются
я-
ми нескольких стран, разрабатывающих совместные стратегии борьбы с
атмосферным загрязнением. Система должна помочь найти выгодные для
всех сторон стратегии, в рамках которых
ранних мероприятий в других странах.

0-

дождей. Кроме того, в исследование включена Эстония в связи с тем, что

среды Финляндии. Система была адаптирована
ого переноса загрязнения в масштабах Европы в целом. Эта тема оста-
лась за пределами данной книги.

Описание проблемы. В 1992 г. было подписано соглашение ме-
блем (в том числе и проблем охраны воздушной среды). В рамках этого

0-

различных областях охраны окружающей среды. Анал
ния о сотрудничестве заключены между Финляндией и Эстонией.

е-

В Финляндии в конце 80-
держки инвестиций в странах Восточной Европы, направляемых на
уменьшение выбросов загрязнителей на тех объектах, которые оказывают
влияние на состояние атмосферы в Финляндии. Вопрос об объеме такой

с-

ресованных стран. Ясно, ров. Если эксперты соответствующих с- этих стран, то это позволит улучшить понимание ситуации политиками и ния. При этом представители министерств, регионов и заинтересо- данную компьютерную систему, а не только ромиссы, тами.

Математическая модель и исходные данные.

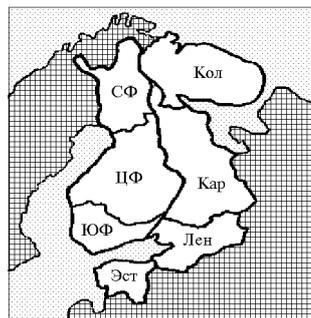


Рис. 4.1

регионы (см. карту на рис. 4.1):

- 1) три региона: Северная, Центральная;
- 2) ч-ных региона: Кольский пол ров, Карелия и Ленинградская область.
- 3) - ривается Эстония.

с-е-ние, что позволило использовать

ния, о переносе загрязнения и о во бросе загрязнения. В данном исслед - окислами серы.

Математическая модель, используемая в компьютерной системе, представляет собой типичную интегрированную модель, предназна нную для целостного рассмотрения экологической проблемы. М состоит из двух блоков: 1) мод с-сматриваемыми регионами, 2) моделей региональных затрат на уменьше-ние выброса окислов серы.

описание двух рассматриваемых подсистем. Модель перен а- регионами России и Финляндии, а также Эст нией. Загрязнение в каждом генного загрязнения, т.е. поступаю-, и эндогенного загрязнения, т.е. являющ е-мого района. Измен ния экзогенного загрязнения во времени заданы, а

матрицы переноса и эмиссии загрязнения в рассматриваемых регионах. не говоря, эндогенное загрязнение получается путем суммирования по всем рассматриваемым регионам получаемых из них загрязнений. При этом загрязнение, получаемое из некоторого региона при з с-сии, можно подсчитать, и-циенты матрицы переноса. Таким образом, испол о-дель выпадения загрязнения. Эта модель является приближенной, она нелинейных моделях. В России такое модел рование осуществляется, например, в находящемся в Москве Вост н-о-сферы.

Таблица 3.1

-							
-рецепторы:							
Северная Финляндия (СФ)	.200	.017	.010	.046	.012	.000	.000
Центральная Финляндия (ЦФ)	.000	.300	.062	.011	.047	.036	.029
Южная Финляндия (ЮФ)	.000	.017	.227	.003	.000	.027	.038
-ов (Кол)	.000	.017	.000	.286	.023	.009	.000
Карелия (Кар)	.000	.033	.031	.017	.318	.045	.019
Ленинградская обл. (Лен)	.000	.017	.031	.003	.012	.268	.058
Эстония (Эст)	.000	.000	.031	.000	.000	.018	.221

т-у этими странами, разработанной в 1988 г. Советско-у-жающей среды. Исследование состояло в оценке эми сии, создании мо-дели переноса загрязнения, анализе эмпирических данных и в формули-ровке предложений по уменьшению эмиссии. Изучались эмиссия и пере-нос окислов серы и азота, а также тяжелых металлов. В частности, была осадков в Финляндии, Эстонии и приграничных районах России в 1980 и 1987 годах. Эти величины был модели переноса окислов серы, разработанной в рамках Европейской ким центром (Осло, Норвегия). Были также собраны дан-ные по эмиссии окислов серы, которые были утверждены представителя-ми упомянутой комиссии. На основе баланса окислов серы за 1987 г. была оценена матрица переноса окислов серы, описывающая связь между района (эта лице 3.1). а-даче рационального распределения затрат, требуется связать уменьшение эмиссии окислов серы с затратами на проведение этой операции. Функ-

очистки выбросов предприятий. Эта работа была осуществлена Техническим Исследовательским Центром (VTT) Финляндии. В этой же работе дана оценка экзогенного загрязнения. Полученные результаты позволяют с- сии.

На рис. 4.2 приведены зависимости затрат, необходимых для уменьшения эмиссии серы в трех регионах Финляндии. По горизонтальной оси отложены величины эмиссий (в тыс. тонн), а по вертикальной — затраты (в млрд. финских марок, 1 доллар США соответствует пяти финским маркам). Пересечение графиков с горизонтальной осью (нулевые затраты) соответствует уровню эмиссии в конце 80-х годов. Удельные затраты характеризуются наклоном кривой. Как видно, в Северной Финляндии эмиссия мала, причем требуются достаточно большие затраты для дальнейшего уменьшения эмиссии. Наоборот, в Центральной и Южной Финляндии эмиссии значительно выше, но в то же время, удельные затраты в этих регионах меньше (если уменьшение эмиссии покажется велико). При увеличении масштабов мероприятий, связанных с уменьшением эмиссии, удельные затраты растут до уровней, характерных для Северной Финляндии.

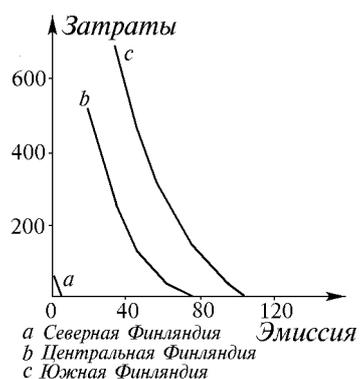


Рис. 4.2

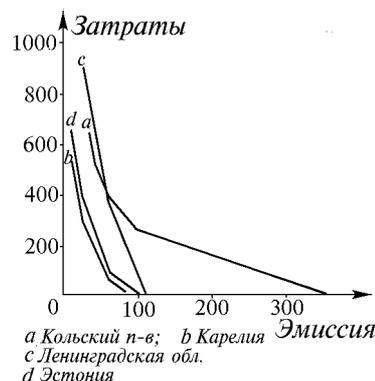


Рис. 4.3

рис. 4.3 приведены зависимости затрат от эмиссии серы для России и Эстонии. Эти кривые имеют качественно тот же вид, отличаются лишь величинами наклонов кривых. Особенно выделяется зависимость для Кольского полуострова, которая характеризуется большими эмиссиями.

в качестве показателей, отражающих интересы сторон, участвующих в переговорах, были взяты экологические показатели, такие как количество выпадающих осадков в различных регионах, и экономические затраты, а

мические показатели: затраты на уменьшение в или ином регионе. Описанная модель по варианта затрат.

Анализ компромиссов и построение стратегий.

предназначена для различных пользователей, было решено не фиксировать заранее набор критериев выбора решения, а наоборот, предоставить

критериев, в показателях. В связи с этим в системе была реализована диалоговая подсистема формирования набора критериев, интересующих пользователя. Кроме того, оказалось возможным изменение показателей.

Перечислим возможные критерии выбора решения в системе:

- 1) затраты на уменьшение эмиссии в каждом из регионов;
- 2) затраты на территории Финляндии в целом и России в целом;
- 3) общие затраты;
- 4) удельное (на единицу площади) выпадение осадков из регионов;
- 5) максимальное (по регионам) удельное выпадение осадков в каждой из стран;
- 6) количество выбросов в атмосферу.

Исследователь начинает свою работу с выбора тех критериев модели, взаимосвязь между которыми он хотел бы изучить. Число критериев, выбираемых для одновременного исследования, не должно превышать пяти. Исследователь имеет возможность наложить ограничения на значения всех показателей (выбранных и не выбранных).

Напомним, что для построения ОЭП исследователь должен обеспечить выполнение критериев. Это может оказаться неудобным в ситуациях, когда пользователь не может выбрать критерия (или хотел бы

этого критерия). Поэтому в системах с жесткими целями непосредственно. Пример исследования в данном параграфе.

проверяет ограничения на совместность. Если ограничения несовместны, то пользователь должен изменить их. В случае их совместности с жесткими целями, ЧОЭП или ОЭП. Визуальное исследование, пример которого приведен в данном разделе, завершается выбором компромиссной цели. Далее автоматически отыскивается эффективная стратегия, соответствующая выбранной цели. Она может быть представлена на географической карте.

Опишем простой пример использования системы. Предположим, что выбраны три критерия:

- 1) затраты на уменьшение эмиссии на территории Финляндии (CF), в рок,
- 2) затраты на уменьшение эмиссии во всех странах, рассматр в модели (СТ), в миллиардах финских марок,
- 3) максимальное удельное выпадение загрязнения в Финляндии (PF), в граммах на квадратный метр за год.

Предполагается, что значения CF и PF уменьшать, а для первого критерия это направление не определено

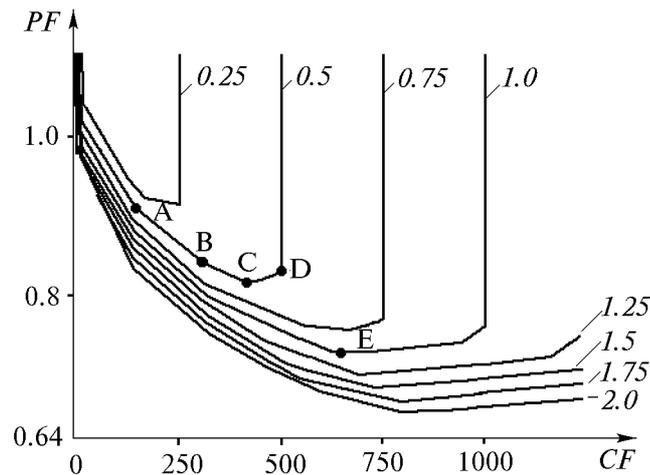


Рис. 4.4

дователями. Пусть наложены следующие ограничения: удельное выпадение не должно превышать 0,4 г/кв.м;

не должно превышать 0,5 г/кв.м. Читатель не должен удивляться, что исследование было проведено финскими специалистами, поэтому ограничения в Финляндии. Мы считаем, что анализ интересен и для российского читателя, особенно если учитывать тот факт, что в данной ситуации именно Финляндия должна быть донором.

Проверка показывает, что ограничения модели оказываются существенными. Поскольку не для всех критериев определено направление улучшения, в данном случае строится ЧОЭП по второму и третьему критериям. На рис. 4.4 приведена серия двумерных сечений этого множества в координатах критериев CF (затраты на территории Финляндии) и PF (загрязнения в Финляндии) при восьми значениях критерия СТ (суммар-

ные затраты), равных 0.25, 0.5, 0.75, 1.0, 1.25, 1.50, 1.75 и 2.0 миллиардов финских марок.

Рассмотрим более внимательно сечение, соответствующее суммарным затратам в 0.5 млрд. финских марок. Как видно, при увеличении затрат на территории Финляндии CF от нуля до 400 млн. марок (точка C) загрязнение в Финляндии падает, а затем, при росте CF до 500 млн. марок (точка D), начинает медленно расти. Действительно, точка A означает, что при суммарных затратах в 0.5 млрд. финских марок, если только 140 млн. марок из общей суммы будут истрачены на территории Финляндии. Движение вдоль кривой, о

писанной на рисунке, приводит к уменьшению загрязнения (в точке C загрязнение составит 0.8 г/кв.м при суммарных затратах в 400 млн. марок на территории Финляндии), а затем и к его росту (точка D). Это означает, что при фиксированных общих затратах в 500 млн. марок имеется наиболее рациональное для Финляндии (если рассматриваемых критерия) распределение затрат между очисткой источников на территории и вне Финляндии, задаваемое точкой C. Это 400 млн. марок на территории Финляндии и 100 миллионов – вне ее. Ясно, что 400 млн. марок должны быть инвестированы Финляндией. Вопрос о том, какая часть из 100 млн. марок будет предоставлена Финляндией, а какая – ее партнером, должен быть рассмотрен во время переговоров. При этом важно понимать, что в таком распределении заинтересована финская сторона. Рассчитав стратегию, соответствующую этой цели, можно найти распределение затрат по регионам, выгодное для Финляндии.

А что произойдет, если общие затраты будут выше или ниже? Это видно из соседних кривых на рассматриваемом рисунке. При общих затратах в 250 млн. марок (см. кривую выше рассмотренной ранее) Финляндия заинтересована в полном использовании их на своей территории, т.е. при малых общих затратах для Финляндии не имеет смысла связываться с другими странами. Если же общие затраты составляют 1 млрд. финских марок, для Финляндии разумно выбрать вариант, в котором затраты на территории Финляндии составляют 650 млн. марок, а удельное выпадение осадков – 0.74 г/кв.м.

Остальные инвестиции должны делаться в других регионах. И действительно, для уменьшения загрязнения в Финляндии (сравните, например, точку A и точку, лежащую прямо под ней на кривой с общими затратами в 0.75 млрд. марок). Увеличение общих затрат приводит к значительному уменьшению загрязнения лишь при движении по кривой, т.е. тогда, когда увеличиваются затраты на территории Финляндии. В то же

время, с увеличением затрат в Финляндии (например, в точке Е такие затраты составляют уже 350 млн. марок).

Решение, соответствующее точке Е, приведено на рис. 4.5 – 4.7. На рис. 4.5 показано распределение затрат между регионами, а на рис. 4.6 – эмиссия серы по регионам до и после выполнения проекта. На рис. 4.7 изображено выпадение серы до и после осуществления проекта. Рис. 4.5 показывает, что на территории Финляндии все затраты разумно сделать в Южной Финляндии. В связи с тем, что Эстония интенсивно загрязняет атмосферу Южной Финляндии, затраты (270 млн. марок) выгодно сделать именно в Эстонии, а 90 млн. марок – в Ленинградской области. Уменьшение выпадения серы в основном происходит в Южной Финляндии и Эстонию, однако в Ленинградской области, Карелии и Центральной Финляндии уменьшение также заметно.

Подчеркнем, что здесь ан
и-
н-
ской стороны, причем при вы-
и Центральной Финляндии. Иные

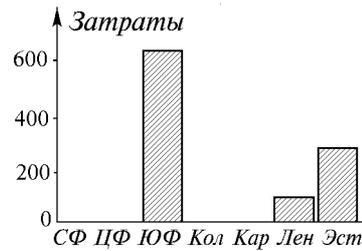


Рис. 4.5

зультатам. Поэтому было
пяти критериев, включив с-
е-
дии.
другие критерии, другие кривые и
другие точки. Мы здесь не делаем
этого, поскольку данная система –

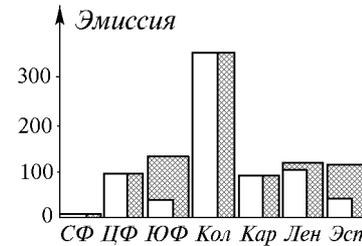


Рис. 4.6

ж-
ров, и мы не можем
д-
робно. Подчеркнем лишь, что по-
их успешного проведения. Именно
информирование об интересах, а
- и
решений, является задачей

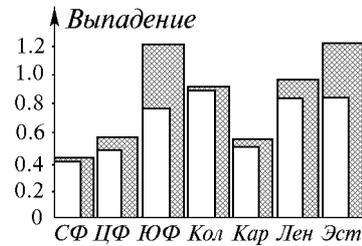


Рис. 4.7

целом.

стем,

загрязнения атмосферы. В частности, была разработана компьютерная система, позволяющая вырабатывать совместные стратегии уменьшения загрязнения атмосферы в Европе.

2.5. Поиск компромиссных стратегий

раниц изменения параметров биосферы, нарушение которых грозит

ния, является одним из важнейших вопросов. Это связано с резким увеличением антропогенной нагрузки, которая в настоящее время способна привести к глобальной перестройке биосферы. Изучение этого вопроса требует прежде всего процессов общепланетарного масштаба: требу-

-экономических систем.

главе уже говорилось о сложности изучения систем, состоящих из подсистем различной природы. Система “человек–биосфера” является характерным примером таких систем. Действительно, достаточно вспомнить, что эта система должна включать, по крайней мере, три блока: блок климата, блок эволюции биоты и блок человеческой активности, каждый из которых изучается различными научными дисциплинами, каждая из которых имеет свой язык и свою систему понятий. Объединение знаний специалистов, принадлежащих различным направлениям, может быть осуществлено на основе системного метода математического моделирования. Следует, однако, отдавать себе отчет в том, что в каждой научной дисциплине существуют собственные принципы построения математических моделей. Поэтому математические модели, используемые различными дисциплинами, могут качественно различаться между собой, что отражает тот факт, что они описывают разнородные объекты.

В процессе изучения проблем возникают два основных вопроса: построение достаточно надежного анализа моделей различной природы. МДЦ может служить основой методики анализа системы моделей. Эта методика принципиально отличается от традиционной используемой при исследовании глобальных проблем, отсутствие которой позволяет формулировать сценарии антропогенного воздействия, последствия кото-

Как мы уже говорили, варианты расчетов не дают возможности идти разумные стратегии взаимодействия с биосферой. Более того, они основаны на альтернативных стратегиях (позициях), а не на принципиальных переговорах. В отличие от вариантов расчетов, МДЦ позволяет обосновать разумные стратегии поведения человечества в системе “человек–биосфера”. В рамках упрощенной модели, которая строится на основе упрощения исходных мо-

5

Дж. Форрестера “Мировая динамика” [54].

тем глобальной системы (подробности этой методики рассмотрены в гл. 4). В качестве примера реализации методики тип компьютерной системы, предназначенной для вы-

и-

– проблемы глобального изменения климата (парникового эффекта).

О парниковом эффекте. р-
жание в атмосфере некоторых газов, а именно углекислого газа, закиси азота, метана и хлорфторуглеводородов и т.д. Эти газы пр о-
зрачны для коротковолновой солнечной радиации, но поглощают и испускают длинноволновое (тепловое) излучение и, таким образом, могут оказывать влияние на климат Земли. Особе
газа, но и другие газы, вызывающие парниковый эффект, играют теперь почти такую же важную роль в изменении климата. Если существующие нденции сохранятся, то совместное увеличение содержания в атмосфере углекислого газа и других газов, вызывающих парниковый эффект, по концентрации углекислого газа (по сравнению с доиндустриальным уровнем), во можно, уже к н чалу 20-30-х годов следующего века.

Эксперименты, проводимые с моделями климатической системы, показывают, что удвоение концентрации углекислого газа в атмо е-
поверхности на 1.5 – 4.5 градуса. Однако, учитывая сложность климатической системы и несовершенство ее моделей, нельзя исключить значеня, выходящие за пределы данного диап зона. С другой стороны, тепловая инерция океанов будет замедлять такие изменения; ожидается, что средние равновесные температуры, соответствующие удвоенным концентрациям газов, вызывающих парниковый эффект, будут достигнуты лишь ков лет. Хотя такие факторы, как изменения кон- лей, притока солнеч о-
ва, также могут оказывать влияние на климат, наиболее важной причиной климатических изменений в следующем столетии явятся, по-видимому, изменения концентрации газов, вызывающих парник вый эффект.

надежных результатов, однако можно утверждать, что в выс поздней осенью и зимой повышение температур может быть больше, чем в тропиках; средний годовой сток может увелич о-
тах, а в средних ш н-
лением. Хотя ожидается, что повышение температуры в тропиках будет меньшим, чем в среднем для всего земного шара, однако его воздействие на экосистемы и условия жизни человека в тропиках может иметь далеко идущие последствия: рение, а во влажных тропических областях ко-
жет возрасти.

Исходя из данных наблюдений, можно полагать, что глобальное потепление в пределах 1.5 – 4.5 градусов по океану на 20 – 140 см. Если будет достигнут верхний предел указанного диапазона, это может непосредственно оказать сильное воздействие на прибрежные районы. Если исходить из данных, в прошлом, то нет ни малейшего сомнения в том, что будущие климатические изменения, которые по- газа в атмосфере, могут оказать глубокое воздействие на экосистемы, во, водные ресурсы и морские льды.

срочных проектах, например, о крупномасштабных работах, направленных на использование водных ресурсов (например, развитие ирригации и гидроэнергетики), о строительстве инженерных сооружений в прибрежной зоне и т.д. Все эти решения основаны на предположении о том, что

будущее. Однако такое предположение сейчас уже не оправдывается, поскольку, как ожидается, рост концентрации газов, вызывающих парниковый эффект, приведет к существенному потеплению глобального климата.

действия газов, вызывающих парниковый эффект, тесно связаны с другими крупными проблемами, касающимися окружающей среды, такими,

Земли, которые возникают главным образом в результате деятельности человека. Так, сокращение по-

снижению выбросов газов, вызывающих парниковый эффект.

Несмотря на то, что некоторое потепление климата вследствие действия парниковых газов, вызывающих парниковый эффект, могли бы оказать существенное влияние на скорость и степень потепления в будущем. В связи с этим, вопрос о методах поиска

рес.

Очевидно, что разработка разумных стратегий, связанных с проблемами глобального потепления. Однако, в силу традиции, самой методологии разумных стратегий внимания до сих пор уделялось крайне мало. Между тем, проблема поиска разумных решений в области

альна. Даже если бы удалось выработать удовлетворяющую всех модель природных процессов, связанных с парниковым эффектом, и собрать все необходимые данные, остались бы трудности, определ

ства.

Уже сейчас ясно, что глобальное изменение климата в р скажется на экономике различных стран. Это приведет к тому, что страны

вых газов. Далее, уменьшение таких выбр крупными затратами и, более того, эти затраты могут иметь разный эффект в различных странах. Поэтому вряд ли удастся найти простое “справедливое” правило, позволя

лгих переговоров, направленных на поиск ромисса.

В связи со сказанным основной вопрос, стоящий при разработке процедур компьютерной поддержки переговоров, связанных с па

– это выработка такой методики, которая могла бы свести воедино результаты всех (модельных, экспертных и эмп рических) иссле

разумных компромиссных решений.

Математическая модель глобальной системы.

модель, использовавшаяся в демонстрационной системе, предназн для того, чтобы продемонстрировать возможности предлага ики исследования. Отсутствие достаточно надежных м

гические. В модели, использованной в данном исследовании, многие

– так, суша земного шара была разбита на малое число регионов по поли-экономическому принципу. Исходные данные, используемые в модели, зачастую л подобны. Тем не менее, эта модель позволяет е- лому.

Модель включает четыре основных блока:

– блок антропогенной эмиссии углекислого газа, в котором описы и-

ты, связанные с их реализацией;

– блок глобального углеродного цикла, который позволяет св

океана;

– блок климата, в котором описывается связь изменений клим е-

го газа;

– блок влияния изменений климата на экономику различных стран.

совокупность соотношений, связывающих выброс углекислого газа с экономическим развитием региона, уровнем энергопотребления и уровнем технологии потребления энергии. Предполагается, что относительное производство. Считается, что изменение удельных энергозатрат (и, следовательно, эмиссии углекислого газа) зависит от средств, направляемых на эти цели.

центрации углекислого газа. В этой связи коэффициент расхода газа и оценок его эмиссии.

климата, разработанная в Вычислительном Центре РАН. И этой модели, проводившиеся в последние годы, позволяют

температур, величин солнечной радиации и осадков (см. [43, 79]). Было также показано, что в определенном и

симостью, т.е. используя эту модель.

ственном производстве. Эти потери моделируются на основе анализа экспертной информации. Точнее говоря, для каждой зоны экспертом определяются потери, происходящие при удвоении средней глобальной температуры. На основе полученных величин определяются коэффициенты, которые используются в соотношениях, предназначенных для расчета величин потерь.

Демонстрационная система.

затрат, направленных в различных регионах мира на уменьшение антропогенной эмиссии углекислого газа, и потерь от изменений глобального климата. Сначала на основе модели глобальной системы строится базовый вариант развития системы, который характеризуется отсутствием мер, направленных на уменьшение

тегии уменьшения эмиссии.

показателей и некоторых структурных параметров модели. В частности, населения и темпов роста производства на душу населения. Прогноз

(энергосберегающей) и более старой. Каждая из технологий характеризуется продукцией. Прогресс в использовании энергии может происходить по двум

направлениям: увеличение доли старой технологии. Полученный прогноз используется в качестве исходной информации для модели, в которой рассчитыв

е-жутка времени. Модель глобального климата позволяет рассчитать температуры, осадков и солнечной радиации с ко- газа. Благодаря этому рассчитываются базовые потери от изменения климата для всех рассматриваемых зон земного шара, которые пересчитываются для каждого десятилетия.

Разработка стратегий, направленных на уменьшение выброса углекислого газа, основывается на использовании нескольких вариантов решений. Модель, применяемая в процессе многократного моделирования, является многошаговой. Точнее говоря, период с 1990 по 2050 годов разделен на десятилетние интервалы, каждый продолжительностью в десять лет. Переход от одного десятилетия к следующему шаг в десять лет. Уменьшение выбросов углекислого газа (по сравнению с базовой траекторией) происходит благодаря инвестициям в энергосберегающие технологии, что, в свою очередь, приводит к снижению выбросов по сравнению с базовой траекторией.

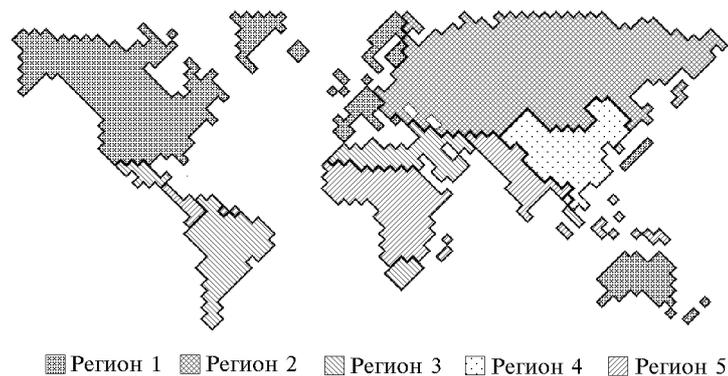
По данным, полученным в результате моделирования климата, был определ

ен коэффициент потерь для каждого региона. По полученным результатам эксперты предложили коэффициенты, связывающие потери в

регионах. Таким образом, была построена упрощенная модель влияния затрат, связанных с уменьшением энергопотребления, на уменьшение потерь от изменений климата.

Рассматривались две группы критериев: критерии, связанные с инвестициями, и критерии, связанные с уменьшением потерь от изменения климата. Критерии формировались на основе суммирования

(так называемое дисконтирование во времени). Ясно, что значения инвестиций должны быть дисконтированы, а критериев, связанных с потерями, не дисконтировать.



ис. 5.1

нов (см. рис. 5.1):

- 1) развитые капиталистические страны;
- 2) постсоциалистические страны;
- 3) новые индустриальные страны;
- 4) азиатские коммунистические страны;
- 5) развивающиеся страны.

Работа с системой состоит в следующем. Сначала исследователь должен выбрать от двух до пяти критериев, которые будут рассматриваться в дальнейшем. Далее, компьютер строит ОЭП, и исследователю предлагается рассмотреть карты решений. Далее, как обычно в МДЦ, он выбирает некоторую достижимую цель, после чего компьютер строит карту, приводящую к выбранной цели.

В качестве примера рассмотрим вариант исследования, в котором было выбрано пять критериев, измеряемых в миллиардах долларов:

- L_s – период времени,
- I_1, I_2, I_3 – рассматриваемый период в первом, втором и третьем регионе соответственно,
- I_4 – количество регионов совместно.

На рис. 5.2 изображены сечения ОЭП, описывающие возможные инвестиции в первом (I_1 – по горизонтальной оси) и во втором (I_2 – по вертикальной оси) регионах. Инвестиции в остальных регионах не превышают заданных значений, на которых мы временно не станем останавливаться. Мы выбрали первый и второй регионы, так как именно в

нами. Се

L_s .

о-

Как видно, каждый
весьма различных инвестициях в первом и втором регионах. Рассмотрим
точку А на кривой $L_s = 180$ млрд. В этой точке $I_1 = 38$ млрд., а $I_2 = 34$
млрд. Сравним эту точку с точкой В, которая расп
кривой, но соответствует максималь-

регионе ($I_1 = 630$ млрд., а $I_2 = 12$
млрд.). При переходе из точки В в
точку А (что может быть интерпре-

ю-
не)

сокращены почти в девять раз. Это
показывает, как выгодно меж-
е-
шении глобальных проблем: за счет

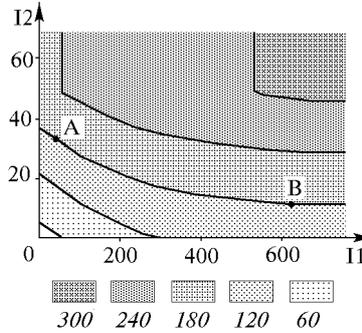


Рис. 5.2

регионе на 22 млрд. удастся сокра-
тить инвестиции в первом регионе почти на 600 млрд. Заметим, что при
увеличивается, а возможности зам щения сужаются, но все же остаются
кими.

ах.

На рис. 5.3 изображена матрица карт решений. Рис. 5.2 являе
карт этой матрицы:

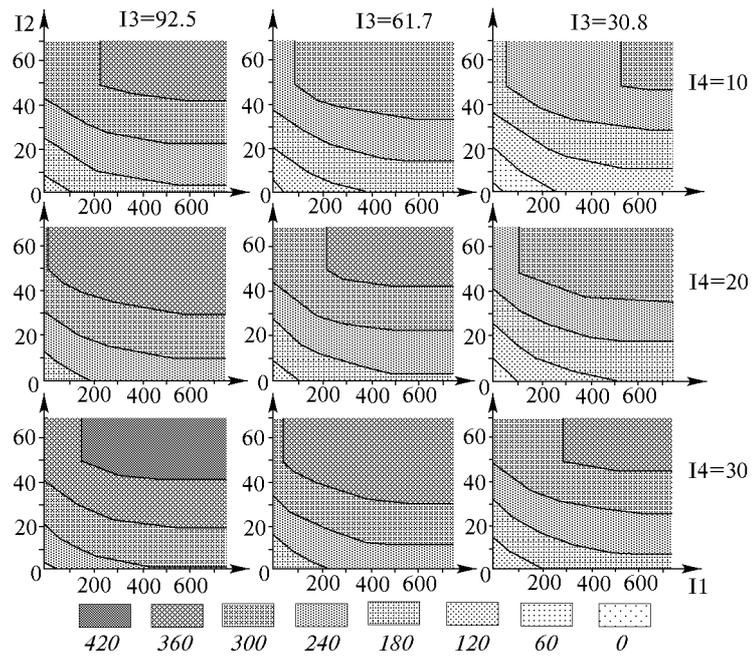


Рис. 5.3

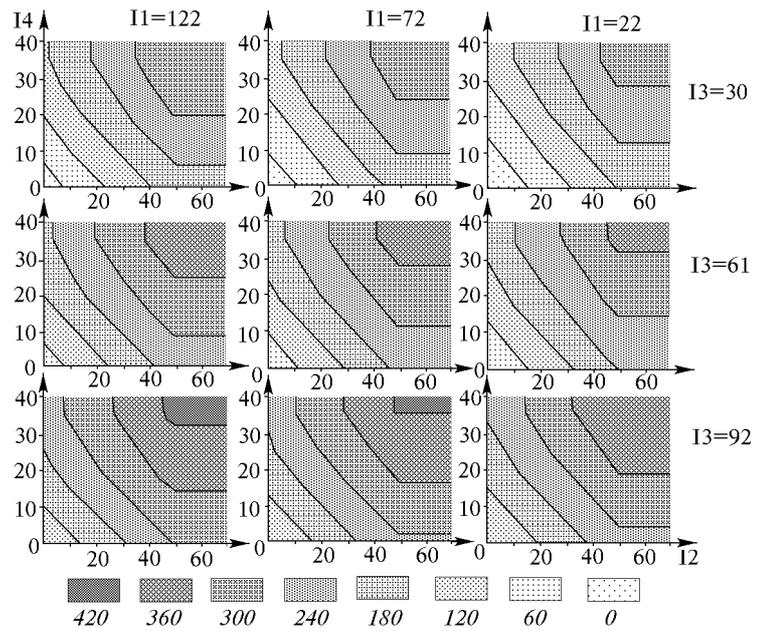


Рис. 5.4

о-
 ваные инвестиции в первом регионе, по вертикальной оси – во втором, а
 уменьшение потерь дается штриховкой. Имеется по три варианта ограни-
 13 14, т.е. всего рассма ривается девять карт.

Эти ограничения указаны у строк и столбцов. Поскольку матр

реках, мы не станем объяснять ее. Отметим лишь, что увел е-

13 14

климата, а форма замещения между инвестициями в первом и втором

13

14.

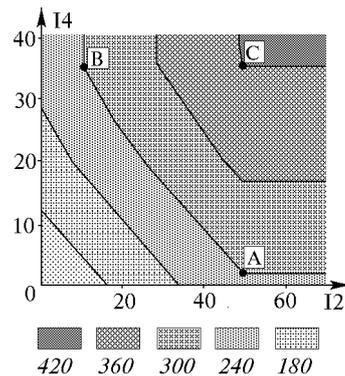


Рис. 5.5

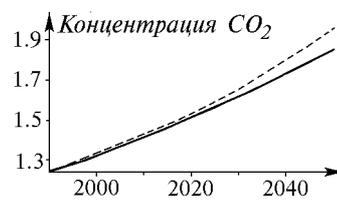


Рис. 5.6

Теперь познакомимся с той же ОЭП с другой точки зрения. На
 рис. 5.4 изображена матрица карт решений, на которых по горизон
 ь-
 инвестиции во втором регионе, а по верт
 – в четвертом и пятом. Уменьшение потерь задается той же штриховкой,
 что и на рис. 5.3.

11 13, т.е. опять

рассматриваются девять карт. Сразу видно, что кривые объ а-

рис. 5.3: добиться существенного уменьшения инвестиций в одном ре-
 гионе удастся только при существенном их увеличении в другом. Влия-

11 13

решений. Рассмотрим более детально одну из карт –
 ряду (11 не более 72 млрд. и 13 не более 92 млрд.). Она изображена на
 рис. 5.5.

Рассмотрим сечение, соответствующее уменьшению потерь L_s е-
 нее 300 млрд. На границе этого сечения указаны две точки. Точка А соот-
 ветствует максимальным разумным инвестициям во втором регионе ($I_2 =$
 50 млрд., $I_4 = 3$ млрд.). Точка В соответствует макс
 инвестициям в четвертом и пятом регионах ($I_2 = 11$ млрд., $I_4 = 36$ млрд.).

Как видим, в рассматриваемом диапазоне инвестиций суммарная их величина остается почти неизменной (инвестиции в четвертом и пятом), поэтому ответ на вопрос о том, где должны быть вложены деньги, приобретает более политический характер. Этим ситуация принципиально отличается от объективного замещения между инвестициями в первом и втором регионах, когда макси-

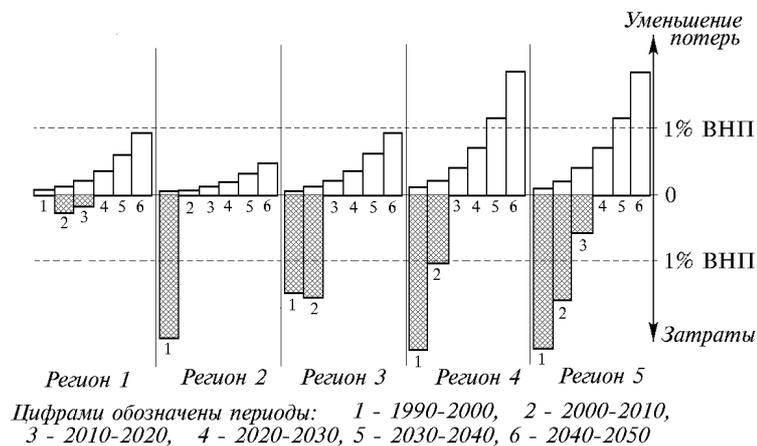


Рис 5.7

безумие.

Заметим, что объективное

рой области,

которая сужается при уменьшении потерь. При уменьшении потерь менее чем в 420 млрд., имеется единственное решение для инвестиций во втором и четвертом (совместно с пятым) регионах – точка С ($I_2 = 11$ млрд., $I_4 = 36$ млрд.). Рассмотрим стратегию, соответствующую этой точке. Она представлена на рис. 5.6 и 5.7.

На рис. 5.6 изображены базовый (штриховая кривая) и расчетный (сплошная кривая) графики зависимости от времени затрат и уменьшения потерь для каждого из регионов (по отношению к его ВВП). Пунктирной горизонтальной линией представлен уровень в 1% ВВП.

Как видно, с помощью инвестиций в энергосбережение

сфере.

На рис. 5.7 изображена зависимость от времени затрат и уменьшения потерь для каждого из регионов (по отношению к его ВВП). Пунктирной горизонтальной линией представлен уровень в 1% ВВП.

Из рис. 5.7 видно, что, как и следовало ожидать, воздействие и эффект сказывается только со временем. Для достижения выбранных

течение первых трех периодов (1990-2020), так как при этом их влияние на потери будет наибольшим. В первом периоде (1990-2000) следует вкладывать инвестиции во всех регионах, кроме первого, во втором периоде (2000-2010) – во всех регионах, кроме второго, а в третьем периоде (2010-2020) – только в первом и пятом регионах.