

ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
СИСТЕМНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ
ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ

СБОРНИК ТРУДОВ

Выпуск 2

МОСКВА 1985

1-7172

УДК 577.4.001.57

Моделирование процессов экологического развития. Сборник трудов. Вып. 2, М., Всесоюзный научно-исследовательский институт системных исследований, 1985.

Сборник содержит статьи, посвященные вопросам формализованного представления динамических природных объектов в исследованиях процессов взаимодействия природы и общества. Освещаются вопросы, связанные с построением моделей экологических систем, методологией моделирования, математическим и информационным обеспечением модельных исследований, управлением и контролем процессов экоразвития.

Modelling of the ecological development processes. Collected papers. Issue 2. M., The Institute for system studies. 1985.

The articles, connected with the problems of formally description of dynamic natural systems in nature—society interaction researches are presented in the publication. Consideration is given to the problems of creation of ecological systems models, methodology of modeling, information supplement and software of simulation systems, management and monitoring of ecodevelopment processes.

Ответственный редактор — канд физ.-мат. наук Ю. А. Ростопшин
Утверждено к печати редакционным советом Института.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шершнев Е. С., Соколов В. И. Проблемы окружающей среды в экономике США.— В сб.: Экология и земледелие. М.: Наука, 1980, с. 58—68
2. Environmental Quality—1980. Washington, 497 p.
3. Lave L., Seskin E. Air Pollution and Human Health. Baltimore, 1977, 468 p.
4. Marcus A. Environmental Protection Agency.— In «The Politics of Regulation», pp. 267—303

С. Г. Синельников, П. М. Хомяков

АНАЛИЗ НЕКОТОРЫХ ЗАДАЧ ВЫБОРА РЕШЕНИЙ В ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИИ

В задачах принятия решений одна из наиболее важных и трудоемких проблем — это сбор, накопление и обработка информации. При решении таких задач с помощью формальных методов особое внимание следует уделять достоверности информации: адекватности исходных предпосылок построения модели реальности, точности отражения зависимостей между параметрами выбираемого решения и последствиями выбора и т. д.

Одним из естественных методов решения многих экономических задач выбора в природопользовании, которые обычно представляют собой сложные задачи, является диалоговое программирование в порядковых или количественных шкалах [11, 12]. В качестве источника информации (оракула) при решении таких задач могут использоваться эксперт, лицо, принимающее решение (ЛПР), математические модели: экономические и экологические, и др. По нашему мнению, недостаточное развитие количественных методов прогноза последствий воздействия общества на окружающую природную среду тормозит процесс совершенствования управления социалистическим природопользованием. Целью разработки имитационной модели динамики средообразующих факторов [1, 2, 8] являлось создание формального аппарата, позволяющего прогнозировать развитие экологических систем на длительных, порядка десятков лет, временных интервалах, учитывать при этом изменения, обусловленные социально-экономическими процессами. Остановимся на возможностях использования этой модели в качестве источника информации для задач принятия решений в природопользовании.

Существующая версия системы позволяет анализировать экологические процессы в равнинных регионах (до высот порядка 1000 м) с размерами 10 000 км² или более, характеризующихся достаточно однородными почвенно-климатическими условиями. Антропогенные воздействия могут выражаться в изменении количества биомассы на территории региона (например, вырубка леса, уборка урожая, выпас, пожары); в загрязнении региона промышленными выбросами, средствами охраны растений, а также за счет удобрения сельскохозяйственных территорий; в увеличении плодородия почвы за счет различных мелиоративных работ, внесения удобрений и т. д.

В основу системы положено описание состояния среды, опирающееся на идеи В. И. Вернадского и В. Н. Сукачева, а также на результаты работы группы экспертов-экологов, почвоведов, гидрологов, климатологов и др. Среда описывается с помощью ряда объективных закономерностей развития и взаимодействия между собой основных средообразующих факторов экосистем суши: атмосферы, почвы, растительности и внутренних вод. Каждый из этих факторов характеризуется одной интегральной величиной — индикатором качества.

Индикаторы отражают наиболее важные характеристики факторов: для почвы — плодородие, для растительности — биомассу, для воды — водозапасы территории, для атмосферы — благоприятность кли-

мата для развития растительности. Каждый из индикаторов определяется реальными характеристиками экосистем. С помощью модели возможно изучать основные тенденции динамики состояния среды, учитывая при этом взаимовлияние различных природных комплексов и средообразующих факторов, антропогенные воздействия на природные системы, выражающиеся как в экологических нарушениях, так и в мелиорациях.

Модель зависимости между параметрами выбираемого решения, начальным состоянием и динамикой средообразующих факторов представлена в количественном виде и реализована в виде программы на ЭВМ, что дает возможность изучать и прогнозировать развитие экосистем различных регионов в диалоговом режиме. Таким образом, модель может быть использована для анализа вариантов принятия решений по управлению экономикой региона с учетом экологических факторов.

В литературе рассматриваются различные типы задач, связанных с выбором решений в области взаимодействия общества и природы [4—7]. Эти задачи можно условно разделить на три группы, которые различаются по характеру набора параметров управления. В задачах первого типа переменными могут быть, например, объемы загрязнений или величины экологических нарушений, различные виды затрат ресурсов, определяющие план воздействия на природу. Вторую группу образуют задачи выбора плана производства с учетом экологических требований, в которых параметрами управления служат переменные, характеризующие план производства продукции (затрачиваемые ресурсы, объемы получаемой продукции). В задачах последней группы параметры управления могут быть первого и второго типа. Ограничения во всех этих задачах могут учитывать требуемые объемы производства продукции, имеющиеся ресурсы и качество окружающей среды.

В каждой из этих групп, руководствуясь смыслом критерия выбора решения, можно выделить три типа задач. Во-первых — задачи, в которых выбор варианта взаимодействия между обществом и природой осуществляется из экономических соображений. Это задачи нахождения экономического оптимума экологических нарушений [4, 5]. При этом обычно из социальных соображений задаются ограничения на степень экологических нарушений. Во-вторых — задачи выбора наилучшего решения оптимизирующего неэкономический эффект, которым может быть загрязнение среды или экологические нарушения, определенным образом выраженные, продуктивность экологической системы и т. п. Третий тип составляют задачи, в которых качество природной среды фиксируется (чаще всего исходя из гигиенических критериев) и требуется найти план взаимодействия общества и природы, характеризующий минимальными затратами ресурсов. Многие авторы сводят к такой постановке все задачи принятия решений в области природопользования. Подобное мнение представляется ошибочным, поскольку невозможно определить требуемое (нормативное) качество природной среды, не учитывая совокупность различных экономических, медицинских, моральных и других соображений. Экономические цели общества в системе со всеми остальными социальными целями и имеющимися ресурсами определяют систему общественных предпочтений. Таким образом, принятие решения может быть обоснованным только в том случае, если оно производится в соответствии с системой предпочтений общества при учете всех общественных интересов. Конкретные пути решения таких задач векторной оптимизации диктуются содержательными особенностями задачи.

Рассмотрим задачи принятия решения, формализованные следующим образом. Требуется из некоторой заданной n -мерной области исходных значений искомым управляющим параметрам (переменным) выбрать некоторый вектор (u_1, \dots, u_n) , удовлетворяющий с определен-

ной, наперед заданной точностью, функциональным ограничениям: $F(u_1, \dots, u_n) \leq 0$, где F — векторная функция; и наилучший в смысле, соответствующим критерию качества решения $f_0(u_1, \dots, u_n)$, где f_0 — скалярная или векторная функция. Другими словами, имеются некоторые ограничения на величину самих управляющих параметров. Эти ограничения задают область G . Из этой исходной области надо выбрать такой вектор (набор) переменных, чтобы их характеристики с заданной точностью были не хуже фиксированных, а с точки зрения других характеристик — этот вектор был бы наилучшим с заданной точностью. Ниже мы будем рассматривать только выпуклые задачи, т. е. такие, в которых область G является выпуклой, функциональные ограничения также высекают выпуклую область, критерий качества является выпуклым, (в задачах на минимум) или вогнутым (в задачах на максимум), бинарные отношения являются полными, непрерывными, выпуклыми, регулярными [11].

Можно рассмотреть два классифицирующих признака подобных задач, определяющих подходы к их решению. Во-первых, важным свойством является то, что в порядковых или количественных шкалах становится задача. С этой точки зрения возможны четыре типа задач:

Тип задачи	Ограничения заданы в шкалах	Критерий задан в шкалах	Обозначение типа задачи
1	количественных количественных порядковых порядковых	количественных	(К, К)
2		порядковых	(К, П)
3		количественных	(П, К)
4		порядковых	(П, П)

Тип задачи	Ограничения	Критерий	Обозначения типа задачи
1	вектор вектор ограничений нет ограничений нет	скалярный	(В, С)
2		векторный	(В, В)
3		скалярный	(О, С)
4		векторный	(О, В)

Во-вторых, критерий качества задачи может быть как скалярным, так и векторным, и кроме этого задачи могут отличаться количеством функциональных ограничений:

Решением многокритериальных задач будем считать решение наилучшее в смысле отношения предпочтения ЛПР [9].

Рассмотрим некоторые типы задач. Первые две буквы в сокращенном названии типа задачи определяют шкалу, в которой заданы ограничения и критерий. Вторые две буквы — количество ограничений и компонент критерия.

1. *Задачи (К, К)*. Это задачи, поставленные в количественных шкалах.

Задача (К, К, В, С):

$$u \in G, F(u) \leq 0, f_0(u) \rightarrow \min,$$

где $F(u) = (F_1(u), \dots, F_m(u))$. Это выпуклая задача математического программирования. Предполагается, что при решении нет явного вида функционалов $F(u)$ и $f_0(u)$, а имеется оракул, который в любой конкретной точке u ; может установить значения, принимаемые функционалами F и f_0 , а также их градиенты. Эта задача может быть решена по укрупненной блок-схеме, приведенной на рис. 1, где G_i — область локализации минимума на i -м шаге, u_i — центр тяжести, δ — параметр,

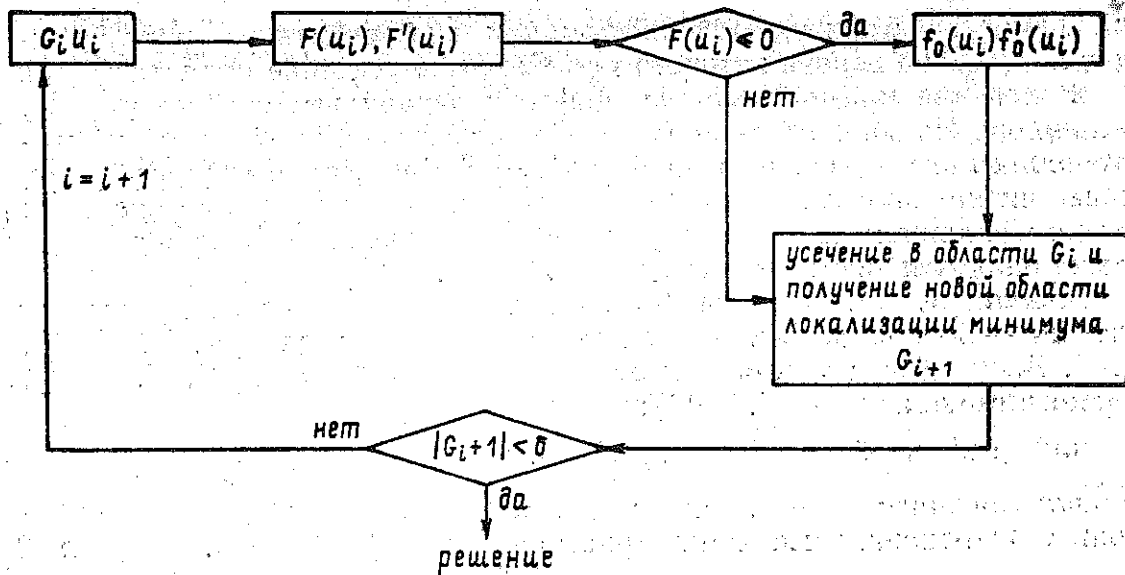


Рис. 1. Блок-схема решения задачи (К, К, В, С)

характеризующий размер области G_{i+1} , $\delta = \nu^n |G|$, ν — требуемая относительная точность решения. Примером подобной задачи может служить задача выращивания леса за наименьшее время, где выбору подлежат количество и время внесения удобрений.

Задача (К, К, В, В):

$$u \in G_i [F_1(u), \dots, F_m(u)] \leq 0, [f_1(u), \dots, f_h(u)] \rightarrow \text{opt.}$$

При решении этой задачи, являющейся многокритериальной, возникают трудности, связанные с поиском компромиссного решения [9, 10, 11]. Их можно разрешить, как это указывалось выше, если искать решение оптимальное согласно отношению предпочтения ЛПР. Тогда задача запишется в виде:

$$\{f(u^*) R_0 f(u) \mid F(u) \leq 0, F(u^*) \leq 0, u, u^* \in G\}$$

Схема решения может быть следующей (рис. 2).

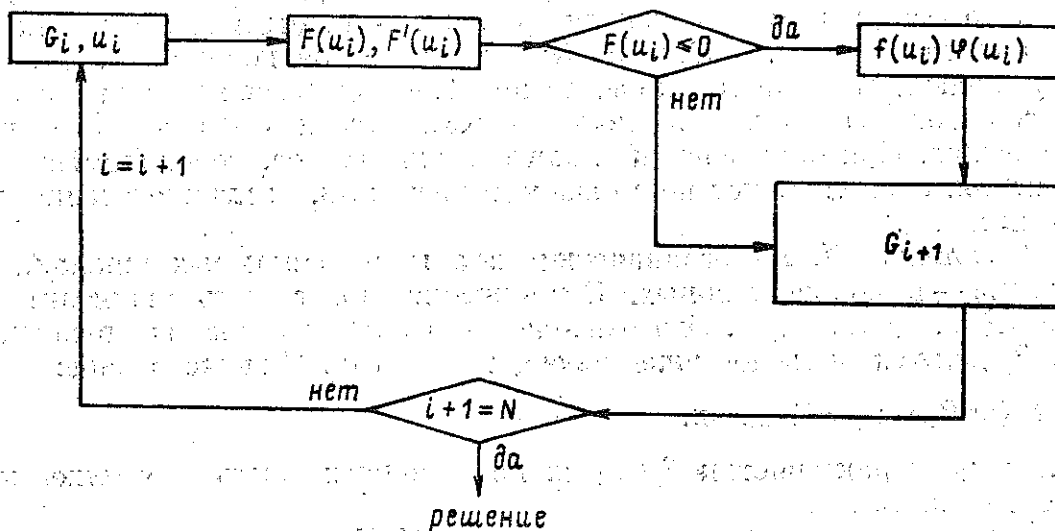


Рис. 2. Блок-схема решения задачи (К, К, В, В)

Для решения необходим оракул, аналогичный оракулу задачи (К, К, В, С), который в каждой точке u_i сообщает значения функционалов, определяющих задачу и их градиенты. Кроме этого оракул должен отвечать на вопросы, выявляющие его предпочтения, т. е. должен сравнивать планы u_i' , u_i'' по их функциональным характеристикам

$f(u_i')$, $f(u_i'')$. Исходя из этой информации, может быть построен функционал $\varphi(u_i)$, на основе которого производится усечение области G [10].

В качестве примера можно привести задачу выбора воздействий на природу. Из множества допустимых воздействий таких, чтобы удовлетворились ограничения по производству $F(u) \leq 0$, надо выбрать такое, чтобы оптимизировать векторный критерий качества, компонентами которого являются характеристики средообразующих факторов: их качество, продуктивность, загрязненность и т. п.

Задачи (К, П). Ограничения заданы в количественных шкалах, критерий — в порядковых. К этой постановке сводятся (К, К, С, В), (К, К, В, В). Тогда задача может решаться так же, как (К, К, В, В). Рассмотрим задачу (К, П, В, С):

$$\{u^* R_0 u \mid F(u) \leq 0; F(u^*) \leq 0; u, u^* \in G\}.$$

Оракул сравнивает в этой задаче u_i' и u_i'' непосредственно, а не их векторные функциональные характеристики $f(u_i')$; $f(u_i'')$. См. рисунок 3.

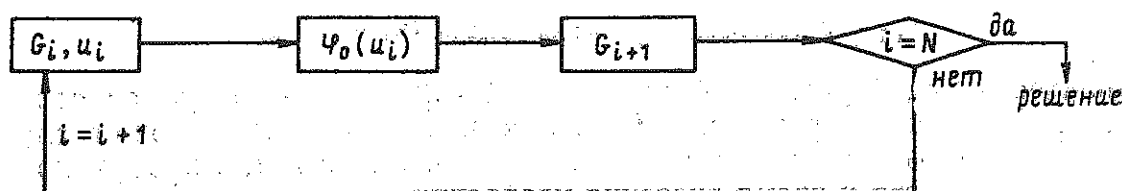


Рис. 3. Блок-схема задачи (К, П, В, С)

Если ясен явный вид функций, задающих ограничения: $F(u)$, то эти ограничения можно добавить к области G и решать задачу (К, П, О, С): $\{u^* R_0 u \mid u, u^* \in G\}$. Примером может служить, например, задача оптимизации эффекта воздействия на среду и плана производства в смысле предпочтений ЛПР без функциональных ограничений. Переменными могут быть ресурсы, параметры плана производства, время осуществления воздействий (затрат) и т. д.

Отличие оракула в этой задаче, дающего информацию, необходимую для усечения области G , от предыдущих задач в том, что в задаче (К, К, В, В) был фиксирован набор свойств (характеристик) $f(u)$ планов u , по которым оракул должен сравнивать планы в соответствии со своим предпочтением. В задаче (К, П) это не предполагается. Важно, чтобы оракул сравнивал планы, с определенной (своей) точки зрения, а какие свойства планов он для этого будет выделять и изучать не имеет значения. При определении характеристик планов, необходимых для сравнения, оракул может пользоваться расчетами, имитационными системами и т. д.

В задачах (П, К) ограничения заданы в порядковых шкалах, а критерий — в количественных. Ограничения могут быть записаны в виде $u R_j u_j$, $j=1, \dots, m$. Это означает, что план u согласно предпочтению R_j должен быть не хуже фиксированного u_j . Или же в виде:

$$F_j(u) R_j F_j^0; j=1, \dots, m,$$

т. е. набор характеристик $F_j(u)$ плана u должен быть не хуже, чем фиксированный F_j^0 .

В первом случае формируется задача (П, К, В, С):

$\{u^* \mid f_0(u^*) = \text{opt}, u R_j u_j, u^* R_j u_j, j=1, \dots, m, u, u^* \in G\}$, а также задачи (П, К, С, С), (П, К, В, В). Возможная блок-схема для задачи (П, К, В, С) изображена на рис. 4.

Если ограничение задано в виде $F_j(u) R_j F_j^0$, $j=1, \dots, m$, то дополнительно требуется определение функциональных характеристик плана u . Задача (П, К, С, С) решается аналогично. В случае задачи (П, К, В, В) возникает, как и в (К, К, В, В) проблема компромисса. Эту задачу можно свести к постановке (П, П, В, С) скаляризовав век-

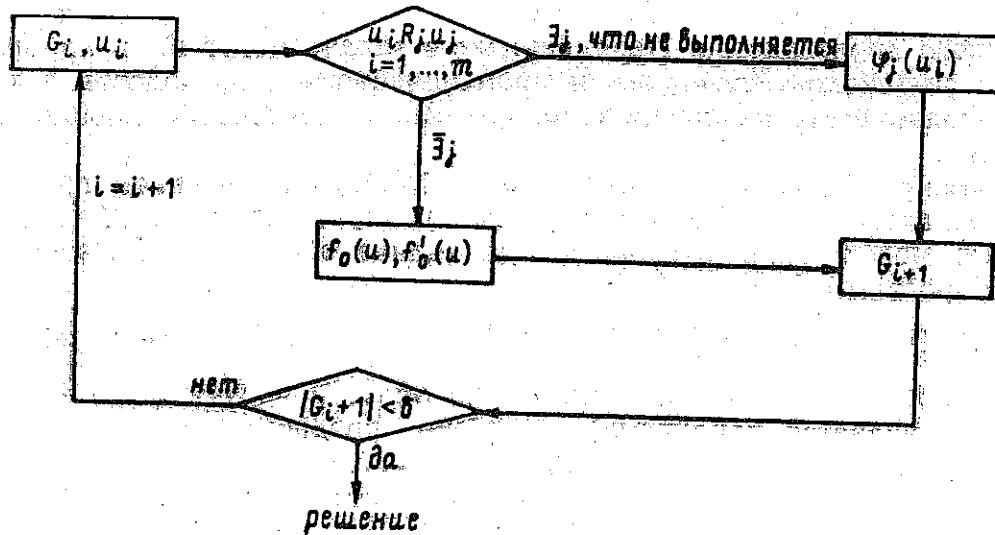


Рис. 4. Блок-схема решения задачи (II, K, V, C).

торный критерий согласно предпочтению R ЛПР. Примером задачи (II, K, V, C) может служить задача нахождения такого плана взаимодействия с окружающей природной средой, который приводил бы к состоянию природной среды, социально-допустимому, удовлетворительному для промышленного, сельскохозяйственного, лесоводческого развития региона и т. д., и чтобы выбранный план требовал наименьших затрат на свое осуществление.

Задачи (II, II). Задачи поставлены в порядковых шкалах. Рассмотрим задачу (II, II, V, C):

$$\{u^* | u^* R_j u_j, u R_j u_j, j=1, \dots, m; u^* R_0 u; u, u^* \in G\}.$$

Блок-схема решения приведена на рис. 5.

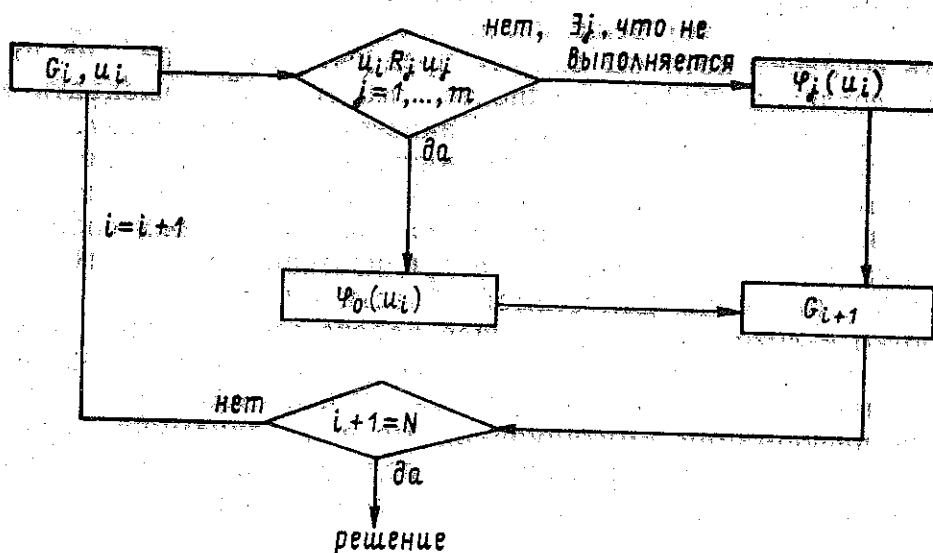


Рис. 5. Блок-схема решения задачи (II, II, V, C)

Содержательным примером может быть следующий. По значениям индикаторов качества воды и атмосферы должны быть выполнены m ограничений с различных точек зрения (например, должны удовлетворяться требования со стороны производственных потребностей, рекреационных свойств, гигиенических стандартов и т. д.). В число ограничений могут быть включены также ресурсные. А характеристики почвы и растительности требуется максимизировать согласно предпочтению R_0 лица, принимающего решение, отражающего интересы сельскохоз-

ственного производства. Переменными в задаче могут быть параметры плана сельскохозяйственного и промышленного производства в регионе, затраты ресурсов на природоохранные и ресурсосберегающие мероприятия.

Задача (П, П, В, В). Если ЛПР обладает отношением предпочтения, задаваемым на характеристиках выбираемого плана, то задача (П, П) может быть поставлена как задача обобщенного математического программирования [11]:

$$\{u^* \in G \mid F_j(u) R_j F_j^0; F_j(u^*) R_j F_j^0, j=1, \dots, m; f_0(u^*) R_0 f_0(u); u \in G\}.$$

Таким образом, надо найти план u из области допустимых значений, который является наилучшим согласно предпочтению R_0 . Если же имеется несколько предпочтений $R_0^i, i=1, \dots, n$, согласно которым должен быть произведен выбор решения, то постановка задачи может быть формализована в виде (П, П, В, В):

$$\{u^* \in G \mid F_j(u) R_j F_j^0; F_j(u^*) R_j F_j^0; j=1, \dots, m, f_0(u^*) R_0^i f_0(u), i=1, \dots, n, P; u \in G\}.$$

Примером такой задачи может служить выбор плана взаимодействия между обществом и природой, если требуется, чтобы план был наилучшим с точки зрения p лиц, принимающих решение (т. е. требуется найти компромисс между p ЛПР), кроме того, согласно предпочтениям m лиц выбранный план должен быть удовлетворительным, и выбирать план нужно из исходной области допустимых значений G . ЛПР могут сравнивать как сами планы, так и их функциональные характеристики (характеристики средообразующих факторов, затраты, требующиеся для осуществления плана, производственные результаты и т. д.).

Очевидно, что подобную задачу решить без дополнительной информации об условиях компромисса нельзя. Можно найти парето-оптимальные (эффективные) решения, т. е. такие решения, которые нельзя улучшить согласно хотя бы одному предпочтению ЛПР, не ухудшив при этом согласно другим предпочтениям. А чтобы выбирать из эффективной области, требуются еще какие-то сведения о том, что такое справедливый выбор. Можно предложить, например, привлечь к выбору из парето-оптимальной области ЛПР более высокого уровня управленческой иерархии, или же, исходя из содержательных соображений, выделить из p ЛПР одно главное, а предпочтения остальных использовать для формирования допустимой области и т. п.

Коротко изложенные в настоящей работе соображения позволяют думать, что методология диалогового программирования в количественных и порядковых шкалах, основанная на использовании в качестве источника информации имитационной модели динамики природных систем, позволяет найти эффективные подходы к решению сложных задач принятия решений в области взаимодействия природы и общества.

ЛИТЕРАТУРА

1. Крутько В. Н., Пегов С. А., Хомяков Д. М., Хомяков П. М. Модель динамики средообразующих факторов. Препринт. — М.: ВНИИСИ, 1982
2. Крутько В. Н., Пегов С. А., Хомяков Д. М., Хомяков П. М. Формализация оценки качества компонентов окружающей среды. Препринт. — М.: ВНИИСИ, 1982
3. Макаров И. М. и др. Теория выбора и принятия решений. — М., 1982
4. Охрана окружающей среды. Модели управления чистотой природной среды. Под ред. Гофмана К. Г., Гусева А. А., — М., 1977
5. Охрана окружающей среды. Модели социально-экономического прогноза. — М., 1982

6. Природные ресурсы в моделях территориально-производственных систем. Под ред. Мкртчяна Г. М., Суспицына С. А. — Новосибирск: Наука, 1982
 7. Ушаков Е. П. Социально-экономическое развитие и природоохранная деятельность. — М.: Наука, 1983
 8. Хомяков П. М. Имитационная модель динамики вод суши. Препринт. — М.: ВНИИСИ, 1983
 9. Юдин Д. Б. Вычислительные методы многокритериальной оптимизации. — Техническая кибернетика, 1983, № 4
 10. Юдин Д. Б. Математическое программирование в порядковых шкалах. — Техническая кибернетика, 1982, № 2
 11. Юдин Д. Б. Обобщенное математическое программирование. — Экономика и математические методы, 1984, № 1
 12. Юдин Д. Б., Немировский А. С., Горяшко А. П. Математические методы проектирования устройств и алгоритмов АСУ. — М., 1982
-