

Авторы

В.И.Паниотто, Л.А.Закревская, А.В.Черноволенко, Л.С.Финкель,
Ю.И.Яковенко, Н.И.Костина, Н.В.Яровицкий, И.В.Черненко, Л.Д.Бев-
зенко, С.Л.Налескин

Опыт моделирования социальных процессов (вопросы методологии и методики построения моделей) / В.И.Паниотто, Л.А.Закревская, А.В.Черноволенко и др.; Отв. ред. В.И.Паниотто; АН УССР. Ин-т философии. — Киев: Наук. думка, 1989. — 200 с. — ISBN 5-12-001043-1.

В монографии обосновывается необходимость использования математических моделей социальных процессов как одного из наиболее перспективных путей повышения эффективности социологического исследования и совершенствования методов управления социальными процессами. На примере имеющегося опыта рассмотрены возможности ряда методов моделирования — теории игр, автоматного моделирования, синергетики, теории графов и других — для изучения и прогнозирования социально-экономических процессов. Методологические вопросы построения имитационных моделей социальных процессов рассматриваются на опыте разработки моделей демографических процессов, модели воспроизводства трудовой занятости населения Киева, прогнозирования удовлетворенности жителей различными аспектами жизни.

Для научных работников, преподавателей и студентов вузов, специалистов по социологии, кибернетике, информатике и управлению социально-экономическими процессами.

Ответственный редактор
В.И.Паниотто

Утверждено к печати ученым советом
Института философии АН УССР

Редакция философской и правовой литературы

Редактор
А.И.Осаулenco

О 0302030000-240 34-89
M221 (04)-89

ISBN 5-12-001043-1

© Издательство "Наукова думка", 1989

ПРЕДИСЛОВИЕ

Математическое моделирование общественных процессов в настоящее время осуществляется у нас в стране лишь по отношению к экономическим процессам. При всей важности и необходимости экономико-математических моделей следует отметить, что они недостаточны. Главный их недостаток — отсутствие в выходных показателях этих моделей (т.е. прогнозируемых или оптимизируемых показателях) стратегических целей общественного развития: формирование подлинно гуманистических, человеческих отношений между людьми, обеспечение полного социального равенства всех членов общества, развитие личности, приближение к коммунистическому идеалу. Слабо отражены также высшие цели социально-экономической стратегии КПСС, конечные показатели развития экономики: материальный и культурный уровень жизни, степень социальной ориентации экономики, ее направленность на создание лучших условий для развития личности, утверждение социалистического образа жизни. Кроме того, в моделях не учитываются механизмы социального (прежде всего, трудового) поведения населения. Очевидно, что для адекватной социальной ориентации экономики и развития социальной сферы недостаточно экономико-математического моделирования. Необходимость выхода на новый, качественный уровень управления страной требует разработки достаточно полных моделей общественного развития, включающих в качестве прогнозируемых собственно социальные процессы и отображающие их наряду и во взаимосвязи с экономическими.

Математическое моделирование социальных процессов еще не получило развития у нас в стране, хотя предпосылки для этого имеются. Есть ученые, обладающие определенным опытом и способные (при создании необходимых условий) развернуть работы по математическому моделированию социальных процессов и подготовке специалистов данного профиля. Предприняты шаги для координации работ в данной области (в рамках секции статистического анализа и моделирования социальных процессов Советской социологической ассоциации и Научного совета по математическому моделированию при Президиуме АН СССР). Сделаны некоторые попытки разработки конкретных моделей (хотя пока эти модели не доведены до реальных эмпирических данных и не внедрены в практику управления социальными процессами).

Вместе с тем сложившаяся ситуация является тормозом для решения задач общественного развития, стоящих перед нашей страной в настоящее время. Повышение эффективности социального самоуправления общества предполагает научно обоснованное прогнозирование, позволяющее предвидеть поведенческие реакции людей на подготавливаемые решения и поиск решения, оптимального с точки зрения его социальных последствий. Однако традиционные средства про-

гнозирования не дают возможности учитывать в достаточной мере комплексный характер реальных процессов, взаимосвязь огромного количества существенных социальных факторов. Информационной базой прогнозирования являются эмпирические социологические исследования — весьма трудоемкие и направленные с необходимостью на исследование лишь небольшого числа значимых факторов. При сохранении такого положения трудно ожидать резкого увеличения отдачи от социологических исследований, без чего невозможно научно обоснованное прогнозирование и управление социальными процессами.

Для преодоления трудностей в области прогнозирования социальных процессов (в том числе и для повышения эффективности социологических исследований) целесообразно использовать новую технологию научного исследования, получающую все более широкое распространение как у нас в стране, так и за рубежом. Речь идет о математическом моделировании изучаемого объекта, проведении вычислительных экспериментов с моделью объекта на ЭВМ и точно направленном сборе недостающей информации. Эта технология показала высокую эффективность в естествознании. Цель данной монографии — показать, что использование такой технологии в социальных науках является еще более необходимым, и рассмотреть некоторые подходы к моделированию социальных процессов.

Прежде всего отметим, что авторы не претендуют на системное изложение методов моделирования социальных процессов. В монографии рассмотрены лишь некоторые подходы к разработке компьютерных моделей социальных систем и сделана попытка оценить их возможности для моделирования социальных процессов. Вполне возможно, что для моделирования социальных процессов понадобятся, как утверждают некоторые авторы, "своя" математика. Без сомнения, потребности социального моделирования приведут к возникновению новых и развитию известных математических средств (как, например, потребности психологии привели к возникновению факторного анализа), но необходимо оценить и то, что уже сделано, выявить потенциал тех или иных подходов, их ограничения и возможности. Именно поэтому мы полагаем, что рассмотрение имеющегося опыта будет полезно для тех, кто интересуется моделированием социальных процессов.

В первых двух главах рассмотрены методы автоматного моделирования и теории игр, успешно зарекомендовавшие себя при решении экономических задач. Мы отбирали такие модели, которые содержат социальные факторы и (или) могут быть непосредственно использованы для моделирования социальных процессов. В третьей главе рассмотрены методы теории графов, уже давно применяемые для анализа межличностных отношений в малых социальных группах. Нами рассмотрен подход, позволяющий перейти от анализа к построению модели и прогнозированию развития малой группы. В следующей главе рассмотрена модель воспроизводства социальной структуры крупного региона и ее реализация на данных исследования занятого населения г.Киева. На модели, прогнозирующей удовлетворенность жителей города различными сторонами жизни, показано соотношение аппарата марковских цепей с имитационным моделированием, делаются выводы о перспективах использования этих методов.

Завершает монографию рассмотрение синергетического подхода к моделированию социальных процессов. Этот подход привел к революционным открытиям в биологии, сейчас идет активное становление его в качестве самостоятельной науки, претендующей на высокую степень общности, поэтому оценка его возможностей для моделирования социальных процессов представляется очень важной.

Данная глава не претендует на такую оценку, но позволяет выделить многообещающее направление применения синергетики — моделирование общественного воспроизводства жизни. Монографию завершает приложение, куда вынесены наиболее специальные части текста, представляющее интерес лишь для разработчиков моделей.

Монографию написали: предисловие — доктор философских наук В.И.Паниотто; введение — С.Л.Налескин, В.И.Паниотто, Л.С.Финкель; главу 1 — кандидат экономических наук Л.А.Закревская, доктор экономических наук Н.И.Костина, доктор физико-математических наук Н.В.Яровицкий; главу 2 — кандидат экономических наук А.В.Черноволенко; главу 3 — Л.Д.Бевзенко, В.И.Паниотто; главу 4, § 1 — В.И.Паниотто, главу 4, § 2 — Л.С.Финкель; главу 5, § 1 — кандидат философских наук Ю.И.Яковенко, главу 5, § 2 — И.В.Черненко; приложение — Л.А.Закревская, А.В.Черноволенко.

ВВЕДЕНИЕ

НОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СОЦИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Повышение эффективности управления общественными процессами невозможно без научно обоснованного прогнозирования, позволяющего оценить социальные последствия принимаемых решений. Мы испытываем настоятельную потребность в обоснованных экономических и социальных прогнозах, отмечается в Политическом докладе ЦК КПСС XXVII съезду партии [1, с.108]. Указание на социальные прогнозы наряду с экономическими показывает, что социальное понимается здесь в узком смысле. Выделение двух смыслов — узкого и широкого — в понятии социального является общепризнанным.

В широком смысле социальное употребляется как синоним общественного и используется при сопоставлении общественных процессов с природными. В узком смысле социальное, например, социальные процессы или социальные отношения, употребляется для выделения специфических процессов или отношений наряду с экономическими, политическими и другими общественными процессами или отношениями.

Вопрос же о том, в чем именно состоит специфика социального, является дискуссионным. Он тесно связан со сложным вопросом о предмете социологии и мы не будем на нем останавливаться, отсылая читателя к специальной литературе [см., например, 2; 3]. В данной монографии "социальное" будет употребляться, как правило, в узком смысле, а модели социальных процессов имеют в качестве выходных (целевых, прогнозируемых, оптимизируемых) социальные показатели, характеризующие степень удовлетворения материальных и духовных потребностей людей, гуманистичность отношений между ними, развитие личности и т.п.

Следует отметить, что между потребностями в социальных прогнозах и реальным состоянием дел в развитии социального прогнозирования существует большой разрыв. Связано это, по-видимому, с недооценкой значимости социальных процессов по сравнению с экономическими, с недооценкой потребности в социальной информации, с доминированием подхода, рассматривающего социальные факторы как средство достижения тех или иных экономических показателей.

Другой причиной является несостоятельность традиционных средств прогнозирования, основанных на экстраполяции, для разработки социальных прогнозов. Во-первых, для использования этих методов (например, для построения трендовых моделей, которые, как указывают И.В.Бестужев-Лада, В.Н.Варыгин и В.А.Малахов, наиболее широко используются в социальном прогнозировании [5, с.8]) требуются достаточно длинные динамические (или статистические) ряды, т.е. значения прогнозируемого признака в последовательные периоды времени¹. Существующая же социальная статистика весьма ограничена [6, с.80], а социологические исследования имеют преимущественно локальный характер и проводятся одноразово: нет даже единичных случаев проведения регулярных территориально-репрезентативных опросов для крупного региона, позволяющих получить информацию для прогнозирования социальных процессов. Во-вторых, комплексный характер реальных социальных процессов, складывающихся под влиянием огромного числа взаимосвязанных факторов, сложные, нелинейные зависимости делают крайне ненадежными прогнозы, основанные на экстраполяции.

Более перспективным является использование модели, отображающей представления о структуре изучаемого объекта, о механизмах, опосредующих изменение изучаемых социальных переменных. Создание такой модели в виде программ для ЭВМ позволяет имитировать развитие объекта (изменение интересующих исследователя переменных) при различных условиях (управляющих воздействиях). Такого рода модели² имеют много преимуществ по сравнению с другими подходами к прогнозированию социальных процессов. В частности, они дают возможность учитывать большое количество переменных, предсказывать развитие нелинейных процессов, возникновение синергетических эффектов. Кроме того, они позволяют не только получить прогноз (он ведь нужен не сам по себе, а как информация для принятия решений), но и найти с помощью вычислительных экспериментов, какие управляющие воздействия приведут к наиболее благоприятному развитию событий. Таким образом, компьютерные модели социальных процессов и вычислительный эксперимент с этими моделями являются важным средством управления социальными процессами.

¹ Интересно, что эту сложность для применения методов кибернетики (как и сложность, связанную с влиянием наблюдателя на наблюдаемые явления) отмечал Н. Винер еще в 1947 г.: "... в общественных науках мы имеем дело с короткими статистическими рядами и не можем быть уверены, что значительная часть наблюдаемого нами не создана нами самими" [7, с.202].

² Поскольку типология моделей "не устоялась" и различные авторы называют их имитационными, эвристическими, стохастическими, системно-динамическими и т.п., мы будем использовать для таких моделей более общее название — компьютерные.

Кроме того, компьютерные модели представляют интерес не только для лиц, принимающих решения, и обслуживающих их социологов-практиков, готовящих проекты решений, но и для исследователей. Сам процесс воплощения теоретических представлений в модель позволяет глубже проникнуть в суть моделируемых явлений, а верификация модели (проведение на ней вычислительных экспериментов и сопоставление полученных результатов с данными эмпирических исследований) является фактически и проверкой теории, положенной исследователем в основу модели.

Однако указанные функции (прогнозирование, вычислительный эксперимент для принятия решений, познавательная функция) далеко не исчерпывают возможности компьютерного моделирования. Оно оказывает более существенное влияние на весь процесс исследования, чем это кажется на первый взгляд.

Прежде всего отметим, что исследователи, имеющие опыт построения моделей, указывают на тесную связь процесса построения модели и сбора эмпирического материала (в частности, измерения) для верификации модели. Так, Д.Бартоломью выделяет четыре функции моделей. "Первая — дать возможность заглянуть в суть изучаемых явлений и лучше понять их... Вторая и третья цели построения моделей относятся к сфере деятельности социолога-прикладника. Широко признанным здесь является применение модели для прогнозирования... С проблемой прогнозирования тесно связан вопрос планирования социальной системы и характера ее функционирования... Дальнейший вклад, который стохастическое моделирование может внести в социальные исследования, лежит в области измерений" [8, с.19–20].

Таким образом, наряду с уже упомянутыми нами функциями модели — прогнозированием, принятием решений (планированием и управлением), познавательной (когнитивной) функцией — Д.Бартоломью добавляет функцию совершенствования измерения. Модель позволяет быстрее и точнее выявить недостатки тех или иных показателей, определить, при каких условиях целесообразно их применение. "Одно из самых важных практических преимуществ в исследовании, когда располагают рядом статистических моделей, заключается в том, что они значительно облегчают статистический анализ социальной информации. Это особенно полезно, когда (что бывает часто) такая информация фрагментарна. Модель помогает записать функцию правдоподобия и, таким образом, оценить интересующие нас параметры" [8, с.20].

На другие преимущества компьютерных моделей по сравнению с умозрительными, вербальными моделями указывают Медоуз и Робинсон [18]. Они отмечают, что строгость и точность модели, ее формализованный характер заставляют исследователя в ходе разработки модели уточнять и исходные концептуальные умозрительные модели. Эта же особенность делает такие модели более доступными критике,

проверке, уточнению. Указанные характеристики, впрочем, неспецифичны для компьютерных моделей и могут относиться к математическим моделям любых типов. Специфической же особенностью является всесторонность, полнота модели, возможность интегрировать в ней огромное количество данных и взаимосвязей, а также логичность и непротиворечивость. Несмотря на эти преимущества, моделирование социальных процессов не получило широкого распространения.

На наш взгляд, именно разрыв между математическими моделями социальных объектов и практикой эмпирических социологических исследований является одной из причин отсутствия успехов в моделировании и прогнозировании социальных процессов. Модели зачастую абстрактны и содержат неverifiedируемые переменные, а исследования проводятся для изучения некоторых связей и не ставят перед собой задачи "наполнения" тех или иных моделей. Если принять деление моделей на трендовые (прогноз зависимости ряда переменных от времени без изучения связей между переменными), эмпирико-статистические (основанные на математико-статистическом анализе данных эмпирических исследований, например, на результатах регрессионного анализа) и имитационные [5, с.8–21], то первые два типа, хорошо согласуясь с имеющимися данными, дают весьма упрощенное представление об объекте исследования и не уводят далеко от статистического анализа причинно-следственных зависимостей между некоторыми интересующими исследователя переменными.

Подход, ориентированный на изучение отдельных эмпирических связей, критиковался Н.М.Амосовым, который одним из первых в нашей стране вместе с сотрудниками руководимого им отдела Института кибернетики АН УССР начал разработку компьютерных моделей поведения личности и социальных групп [9]. Суть критики сводилась к тому, что сбор отдельных фактов и установление некоторых зависимостей иррациональны и не позволяют свести полученные результаты в единое целое. Компьютерное моделирование (называемое в работах Н.М.Амосова эвристическим моделированием или моделированием гипотез)³ отражает представление авторов модели об изучаемом объекте и является, таким образом, системой гипотез: вычислительные эксперименты позволяют затем выявить, какие из параметров модели в наибольшей степени детерминируют ее поведение и указывают на наиболее необходимые для проверки модели данные. Для сбора этих данных затем уже проводятся целенаправленные эмпирические исследования, модель направляет эмпирические исследования на получение необходимой информации.

Такую же точку зрения о роли компьютерного моделирования в исследовании высказывает Дж.Форрестер, завершая свою книгу

³ Эвристическое моделирование можно представить как первый этап компьютерного моделирования.

о модели мирового сообщества (эта работа положила начало проблематике глобального моделирования). "Мы предлагаем начинать моделирование социальных систем с теперешнего уровня, использовать концепции, на которых основываются наши теперешние умозрительные модели. Это сделает моделирование инструментом практики, даст возможность наиболее полно использовать всю доступную ему информацию. Такой подход сильно отличается от сбора данных и статистического анализа, которые занимают так много времени в социальных исследованиях. Сбор данных играет свою важную роль, но он был бы гораздо более эффективным, если бы направлялся моделью системы, помогающей найти чувствительные точки системы и необходимую для этого информацию" [10, с.140].

Указанный подход к использованию компьютерных моделей увязывает вопросы их разработки с технологией самого социологического исследования, с вопросами организации и планирования исследований. Поэтому наряду с функциями гносеологическими и управленческими можно выделить организационно-технологическую функцию компьютерного моделирования.

Возможны и другие классификации функций, выполняемых компьютерными моделями, и самих моделей. Например, по функциям выделяют модели измерительные, описательные, объяснительные, критериальные и предсказательные; по отображаемым закономерностям — детерминистические и стохастические; по ориентации на функционирование или развитие — на модели с постоянной и изменяющейся структурой и т.д. [11, с.12]. Мы, однако, не ставим перед собой задачи классификации функций моделирования или компьютерных моделей. Данная монография не претендует на полноту, она фрагментарна по самому замыслу (опыт моделирования). Наша задача показать, что функции компьютерного моделирования существенно шире, чем кажется на первый взгляд.

Таким образом, можно отметить, в частности, следующие возможности, которые предоставляет создание компьютерной модели социального объекта.

1. Прогнозировать социальные процессы.
2. Принимать решения, проверяя на модели социальные последствия различных вариантов решений (сюда же относятся отмеченные Бартоломью функции социального планирования и управления социальными процессами). Вычислительные эксперименты позволяют заменить эксперименты с реальными социальными объектами.
3. Интегрировать в единую систему большое количество данных, что позволяет учесть многофакторность социальных процессов.
4. Моделировать гипотезы, создавая модель на гипотетических данных, и проверять их на противоречивость (последние две функции имеют отношение к упомянутой познавательной роли компьютерной модели).

5. Планировать эмпирическое исследование путем проведения вычислительных экспериментов, выявления чувствительных и наиболее важных точек модели и концентрирования усилий на получении приоритетной информации.

6. Восстанавливать отсутствующие в модели данные, оценивать неизвестные параметры⁴.

7. Усовершенствовать методику сбора и обработки социологической информации благодаря разработке специального программного обеспечения (в главе 4 приводится пример, показывающий, что имеется в виду).

8. Создавать язык анализа информации, близкий к языку специалиста, что позволяет "опустить" статистические методы анализа в основание модели, создавать возможности для непосредственного диалога исследователя с ЭВМ и существенно повысить возможности интерпретации данных исследования.

Как видим, использование компьютерного моделирования влияет на различные этапы социологического исследования: на планирование исследования (п.5), формулирование гипотез (3, 4), сбор эмпирических данных, включая измерение (5, 6), обработку информации и интерпретацию полученных данных (7, 8), внедрение результатов исследования (1, 2). Разработка компьютерной модели представляет собой итеративный процесс, включающий создание первого варианта модели на основе анализа литературы, экспертных оценок, интуиции исследователя, т.е. всех знаний, накопленных к данному моменту; проведение вычислительных экспериментов на модели, выявление чувствительных точек, определение приоритетов в полезности того или иного вида информации для верификации модели; проведение эмпирического исследования для "наполнения" и верификации модели; доработка модели по данным эмпирического исследования, создание второй версии модели; проведение вычислительных экспериментов и т.д. Процесс продолжается до тех пор, пока не будет построена адекватная модель, пригодная для прогнозирования изучаемого социального объекта с требуемой точностью и надежностью. Таким образом, использование компьютерного моделирования создает, фактически, новую технологию проведения социологического исследования, позволяющую и повысить качество получаемой информации, и снизить затраты на ее получение.

Компьютерное моделирование изучаемого объекта на ЭВМ, проведение вычислительных экспериментов с моделью объекта и точно направленный сбор недостающей информации показали высокую эф-

⁴ Н.Н.Моисеев приводит следующий пример: построенная на ВЦ АН СССР модель Пелопонесской войны позволила установить реальную цену на шерсть и количество вина, которое полагалось рабу в день, а также ряд других характеристик жизни греческих полисов [12, с.110].

фективность в технике, многих разделах физики (оптике, ядерной физике и др.), химии и некоторых других науках. Имея в виду прежде всего технические и естественные науки, но подчеркивая также необходимость использования математического моделирования и в других науках, А.А.Самарский отмечает: "Управление процессами должно быть основано на знании этих процессов, следовательно, управлению должно предшествовать исследование процессов. Чтобы решить эти задачи, нужна перестройка содержания и структуры самой науки и изменение научной технологии, целевых функций науки с тем, чтобы придать ей динамизм, оперативность, гибкость и универсальность. Нужна новая научная технология, новая методология научного исследования, поиска и прогноза. Фактически, такая технология уже существует — это математическое моделирование и вычислительный эксперимент на современных ЭВМ" [13, с.58].

Мы полагаем, что необходимость использования этой технологии в социальных науках является особенно настоятельной. Это связано, во-первых, с более высокой сложностью социальных объектов по сравнению с техническими или физическими объектами, нелинейностью и многофакторностью социальных процессов, сложными взаимосвязями, делающими практически невозможным создание достаточно полной вербальной модели объекта. Во-вторых, это связано со сложностью (а часто и невозможностью) проведения экспериментов на реальных социальных объектах, серьезными социальными последствиями, которые могут иметь такие эксперименты. Поэтому возникает необходимость разработки моделей социальных объектов на ЭВМ и проведения вычислительных экспериментов для прогнозирования последствий намечаемых решений.

В задачах изучения, планирования, управления и прогнозирования социальных процессов целесообразно также использовать и другие, тесно связанные с моделированием методы новой информационной технологии. Интенсивное развитие исследований в области искусственного интеллекта привело к созданию нового типа кибернетических систем, так называемых экспертных систем.

Функционирование этих систем заключается в получении некоторой совокупности формальных и эвристических знаний от специалистов в определенной предметной области (экспертов) и дальнейшем использовании накопленной информации для поиска эффективных решений различных проблем в данной или других областях. Экспертная система производит логическую обработку информации, поступающей в нее, выбирая в своей памяти те или иные знания, связанные с этой информацией, и выдает в качестве ответов на запросы некоторые рекомендации или конкретные советы. Кроме того, система может объяснить, каким образом она пришла к данным результатам, т.е. воспроизвести цепочку своих логических рассуждений.

Многие авторы отмечают, что экспертные системы наиболее эффек-

тивны в тех областях, где важная роль отводится эвристическим знаниям и подходам [14]. Необходимость применения эвристических методов возникает, например, в ситуациях, когда невозможно точно поставить задачу или сформулировать правила ее решения, когда задачу не удается или нецелесообразно решать чисто формальными методами, когда объект управления плохо изучен и нельзя построить его компьютерную модель.

Спецификой экспертной системы является наличие так называемой базы знаний. Ее построение является одним из самых сложных процессов при создании экспертных систем. Эта сложность в основном связана с необходимостью структурирования знаний, а возможность той или иной степени структурирования существенно зависит от изучаемой проблемы. Эксперт, знания которого вводятся в систему, может не быть знакомым с деталями программы и вычислительной машиной, на которой реализована экспертная система. Поэтому появляется необходимость привлечения инженера по знаниям, который знаком одновременно и с областью возможного применения экспертной системы, и со структурой указанной программы. Именно этот специалист помогает подобрать оптимальный вариант структурирования вводимых знаний в соответствии с возможностями системы.

При построении базы знаний используются различные формы организации знаний. Одной из них являются семантические сети, в вершинах которых помещаются объекты (понятия) из области применения экспертной системы, а связи между вершинами выражают реальные логические отношения между указанными объектами.

Широкое распространение получило представление знаний в виде так называемых правил продукций, которые имеют вид условий: ЕСЛИ удовлетворяется некоторое множество условий, ТО следует выполнить некоторое множество действий (эксперту предъявляются условия, а он указывает свои действия при этих условиях). Еще одним из возможных способов организации знаний является использование структур типа фреймов, которые можно рассматривать как обобщение правил продукций. Существуют и некоторые другие способы.

В реальных задачах чаще всего приходится иметь дело с неточными, неоднозначными, а иногда и с противоречивыми знаниями. В особенности это относится к знаниям о социальных явлениях и процессах. И хотя в большинстве реализованных экспертных систем используются знания единственного эксперта или соглашения нескольких, разработаны системы, действующие в сложных областях и принимающие информацию из различных источников, в частности, от нескольких экспертов, которые могут иметь противоречивые суждения по одним и тем же вопросам.

Реакция системы на неточную или противоречивую информацию может быть различной. Система либо запрашивает у пользователя дополнительные сведения, либо пытается обработать ее самостоятельно.

но, применяя специальные методы, а иногда и обходится последующим учетом степени достоверности вырабатываемого решения, выраженной в процентах или с использованием вероятностных терминов. Кроме того, существуют экспертные системы, которые в результате своей работы выдают не единственное решение, а некоторое их множество, отражающее различные возможности при оценивании спорных ситуаций. Таким образом, исследователям предоставляется право выбора наиболее подходящего в данном случае решения.

Для того чтобы дать более полное представление о том, что такое экспертные системы, наверное, нужно описать несколько примеров их применения. Необходимо отметить, что сфера использования экспертных систем постоянно расширяется. Она захватывает самые разнообразные стороны жизнедеятельности человека: от выбора и размещения компонент сложнейших вычислительных комплексов и обработки энциклопедических знаний до диагностики заболеваний сельскохозяйственных культур и оценки степени надежности строений на случай землетрясения [15]. Созданы системы для определения геологической структуры пластов, использующие большое количество данных, поступающих от прибора, измеряющего проводимость породы вдоль буровой скважины; системы выделения опасных политических ситуаций и предупреждения военных конфликтов и многие другие.

Очень успешным оказалось применение экспертных систем в юриспруденции. В таких системах база знаний наполняется информацией, взятой у опытных юристов и, конечно же, из различных юридических трудов, справочников и сводов законов. Благодаря этому система, применяя свои логические средства, помогает либо вести следствие по запутанным и сложным делам, либо искать способы защиты в трудных ситуациях.

Интересен также опыт использования экспертных систем в медицине. Процесс постановки диагноза врачом в большей степени основывается на его опыте и интуиции, чем на строгом анализе всех физиологических и патологических процессов, протекающих в организме больного. Поэтому многочисленные попытки использовать в качестве помощника обычную вычислительную технику не принесли ощутимых результатов. Положение коренным образом изменилось с возникновением экспертных систем, ведь они специально рассчитаны на восприятие и таких нестрогих знаний. Теперь медицинские экспертные системы успешно ассистируют врачам. Хорошим примером этому служит разработанная совместно ВНИИ системных исследований АН СССР и НИИ экспериментальной и клинической хирургии МЗ ГССР экспертная система диагностики симптоматической гипертензии [16]. Эта система позволяет распознавать различные заболевания, приводящие к повышению артериального давления.

Думается, что широкий спектр возможностей экспертных систем привлечет к себе внимание исследователей в области общественных

наук. Применение их в этой сфере стало бы весьма перспективным. Сложность и многогранность социальных объектов иногда не позволяют создавать модели, адекватно отображающие их структуру и всесторонне охватывающие процессы их функционирования. Однако исследователи, как правило, могут получить или уже располагают некоторыми (иногда достаточно большими) совокупностями знаний об указанных объектах. Эти знания могут представлять результаты эмпирических исследований данного или подобных объектов, наборы фактов или гипотез, возникших в ходе работы, определенные теоретические обобщения. Но основное место в такой информации занимают знания, полученные от экспертов в изучаемой области.

Например, при изучении тех или иных социальных черт городского населения с целью разработки рекомендаций по усовершенствованию управления социальным развитием города особое значение имеют знания опытных работников горисполкома, депутатов городского Совета, партийных и комсомольских руководителей и других лиц, хорошо знакомых со специфическими проблемами своего города и неоднократно принимавших участие в решении таких проблем. Среди них могут быть отобраны те, кто наиболее успешно справлялся со своими задачами. Именно эти люди могут быть привлечены в качестве экспертов для проведения названного исследования.

Особенность построения экспертной системы состоит в том, что в ней создается модель не самого объекта, а модель знаний о нем. При этом в роли инженеров по знаниям должны выступать социологи. Именно они обязаны предложить подходящий способ представления и структурирования информации в базе знаний экспертной системы, учитывая те логические средства, которыми последняя обладает и с помощью которых будет построена внутрисистемная модель, являющаяся образом уже самого исследуемого объекта.

Важно отметить, что существует реальная возможность объединения средств компьютерного моделирования и экспертных систем (например, модель может входить в экспертную систему как одна сложная продукция). Это обеспечивает гибкость в выборе средств моделирования социальных объектов и возможность объединить теоретические знания, данные эмпирических исследований и статистики, знания экспертов.

Таким образом, развитие компьютерного моделирования и экспертных систем — важное стратегическое направление развития технологии научных исследований. Следует также учесть существенное отставание нашей страны от развитых западных стран, США, Японии в области электронизации и компьютеризации народного хозяйства. Такая ситуация обусловлена недостаточным развитием целого комплекса отраслей народного хозяйства и не может быть ликвидирована в ближайшем будущем. Вместе с тем успехи компьютеризации зависят не столько от вычислительных мощностей и других характеристик

компьютеров, выпускаемых промышленностью, сколько от характера и содержания задач, решаемых с их помощью (как известно, затраты на программное обеспечение в мировой экономике намного превышают затраты на вычислительную технику).

Развитие же программного обеспечения, хотя и связано с развитием самих средств вычислительной техники, но далеко не определяется им. Даже на имеющейся отечественной вычислительной технике, сильно уступающей зарубежным компьютерам, могут быть созданы компьютерные модели и экспертные системы, превосходящие зарубежные аналоги [17]. К тому же сконцентрировать усилия ученых на тех или иных важных направлениях науки можно достаточно быстро.

Думается поэтому, что правильное распределение средств на компьютеризацию, приоритетное развитие программного обеспечения, прежде всего, компьютерного моделирования и экспертных систем позволило бы нашей стране компенсировать отставание в технических характеристиках компьютеров за счет их "интеллектуализации" и выйти на мировой рынок с конкурентоспособными программными продуктами. Особенно важно создание компьютерных моделей и экспертных систем для управления социальными процессами, так как именно в социальной сфере реализуются в первую очередь стратегические цели нашего общества, от ее развития зависит в конечном итоге то, как мы будем жить и работать.

ГЛАВА I. ВЕРОЯТНОСТНО-АВТОМАТНЫЕ МОДЕЛИ

1. РАЗВИТИЕ ГОРОДСКИХ СИСТЕМ: ПЛАНИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ

Создание рациональной городской среды, обеспечивающей наиболее благоприятные условия труда, быта, отдыха, физического и культурного развития городского населения, относится к одной из основных социальных целей развития города [1]. Важнейшими социальными проблемами современных городов являются проблемы демографические, трудовых ресурсов, жилья, диспропорций между развитием сферы обслуживания населения и строительством жилья и др.

Совершенствование социального планирования требует внедрения в его практику современных математических методов и ЭВМ. Особенно большие возможности в этом смысле предоставляет имитационное моделирование, дающее возможность исследовать основные закономерности развития сложных социально-экономических объектов, к которым относится город. Имитационное моделирование должно стать инструментом планирования социального развития городов.

В настоящей главе проанализированы основные направления применения математических методов и ЭВМ в планировании и управлении и их использование при исследовании развития городских систем. Описаны разработанные в Институте кибернетики АН УССР многоцелевые специализированные имитационные системы, предназначенные для решения некоторых задач планирования социального развития городских систем: оптимизации пространственно-функциональной структуры городской системы на стадии проектирования, демографического прогнозирования и реализации процесса комплексной застройки городской территории. Для построения имитационных систем использован метод вероятностно-автоматного моделирования.

В настоящее время совершенствование планирования тесно связано с применением методов математического моделирования и ЭВМ и созданием условий для внедрения математических методов в практику планирования в качестве инструмента и обязательной части технологии плановых расчетов.

Непосредственно с различной степенью использования математических методов и ЭВМ связаны и выделяемые различными исследователями (Р.Акофф, Ю.И.Максимов, Г.С.Поспелов и др.) три подхода к планированию [2, 3, 4]: традиционный подход; детерминистски-оптимальный подход; вероятностно-адаптивный подход. Наиболее перспективным и интенсивно разрабатываемым в настоящее время является вероятностно-адаптивный подход к планированию и управлению, который, включая все достоинства детерминистски-оптимального подхода (для этого подхода характерно использование оптимизационных, в основном детерминированных, моделей), имеет свои характерные особенности. К таким особенностям относится, в частности, создание человеко-машинных систем планирования, позволивших непосредственно в процессе планирования использовать богатый опыт специалистов (плановиков, экономистов, социологов и др.), повышая тем самым эффективность применяемых математических моделей.

Вовлечение в процесс составления планов с помощью математических методов и ЭВМ специалистов различного профиля, создание комплексов математических моделей и применение методов системного анализа придает процессу планирования и управления характер научного исследования. Другими важными особенностями этого подхода являются предположение о различной степени определенности знаний о будущем, т.е. об условиях реализации плана, повышение роли перспективных планов и минимизация потребности в ретроспективном планировании.

Распространение трех вышеописанных подходов к планированию и управлению можно проиллюстрировать на примере их распространения в США (3). До 50-х годов применение математических методов очень ограничено, их реализация осуществляется с применением распространенной тогда малой вычислительной техники. В 50-е годы с распространением ЭВМ первого и второго поколения и развитием методов исследования операций круг используемых математических методов расширяется, однако применение оптимизационных методов не носит системного характера. В первой половине 60-х годов начинают применяться информационно-вычислительные системы, использование оптимизационных методов расширяется и начинает носить системный характер.

Вторая половина 60-х — начало 70-х годов характеризуются все более широким внедрением математических методов в практическую деятельность ответственных руководителей, непосредственно принимающих решения о планировании и управлении. Распространяются средства и системы вычислительной техники, позволяющие осуществлять прямой доступ к ЭВМ: видеотерминалы; системы, работающие в реальном масштабе времени, и т.д. Развиваются такие направления, как деловые игры, методы системного анализа, методы экспертных

оценок, имитационное моделирование. По существу, можно считать, что с этим периодом связано начало вероятностно-адаптивного подхода к планированию.

Вероятностно-адаптивный подход к планированию связан, прежде всего, с созданием человеко-машинных систем планирования, являющихся важным инструментом исследования и принятия решений. Одним из направлений реализации подхода является разработка систем, включающих имитационные модели изучаемых процессов и позволяющих производить исследования различных плановых решений, применять неформальные правила выбора в сложных ситуациях и т.п. Подобные системы становятся своего рода испытательным полигоном, эффективным способом исследования различных вариантов плановых решений и особенностей самого процесса планирования, поэтому их значение трудно переоценить. Именно с развитием этого направления все чаще связывают повышение эффективности и перспективы использования математических методов и ЭВМ в планировании и управлении сложными социально-экономическими системами, к которым относятся города.

Высокие темпы урбанизации нескольких последних десятилетий, выражающиеся в быстром росте городов, появлении супергородов и агломераций, привели к необходимости исследования процессов городского развития и выявления присущих им закономерностей. Особенно остро эти проблемы встали в высокоразвитых капиталистических странах, в первую очередь — в США, где стихийность урбанизации привела к серьезным негативным последствиям [5, 6, 7]. Возникла насущная необходимость в регулировании процессов городского развития. Одной из первых таких попыток была попытка государственного регулирования городского строительства, заключающаяся во введении так называемого зонирования (впервые было введено в Нью-Йорке в 1916 г. [8]), запрещающего строительство промышленных предприятий в районах проживания имущих слоев населения. Принцип зонирования и теперь является одним из основных инструментов городского регулирования. Другими подобными методами являются принимаемые муниципалитетами строительные и жилищные кодексы, контроль над использованием территорий и другие, носящие характер запретов. Эти инструменты, как правило, неэффективны, и развитие городов в капиталистических странах в основном зависит от рыночной стихии.

Общий кризис капиталистических городов в 50-е годы дал толчок развитию нового инструмента исследования закономерностей функционирования городов — методам математического моделирования.

Первые математические модели изучения городских процессов были разработаны в конце 50-х — начале 60-х годов и касались, в основном, населения и проблем территориального развития городских систем.

Попытки выяснить закономерности территориального роста города и размещения различных видов строительства привели к проблеме формирования цен на городские земли, играющих важную роль при определении характера использования городских земель и разработке соответствующих теорий и моделей [9].

Одной из первых моделей размещения жилищ на территории города (1960 г.) была модель Герберта и Стивенса [9]. В этой модели, представляющей собой задачу линейного программирования, выявляется оптимальное размещение семей, максимизирующее общую оценку участков земли, на которых находится жилой фонд. На основе модели Герберта и Стивенса были построены и другие модели, в частности, модель Пен-Джерси [8], модели для Нью-Йоркской и Сан-Франциско-агломераций, позволившие изучить разнообразные аспекты городского развития (транспортная сеть, структура агломерации, различные аспекты размещения, структура жилищного фонда и т.д.) [9].

Одно из наиболее важных исследований, касающихся размеров урбанизированной территории и плотности застройки, было сделано американским ученым Чепином и его сотрудниками [9, 10] в рамках исследования роста городской ко-нурбации Гринсборо (Северная Каролина). В построенной ими модели учтен динамический, вероятностный характер территориального развития урбанизированной территории, а сам процесс застройки воспроизводится путем имитации. Имитационная модель развития города (модель "физического" роста города) также использована при исследовании города Гётеборга (Швеция) [10].

Различные модели, разработанные зарубежными авторами для исследования территориального развития городов, рассматриваются также в [8, 9, 10, 11].

Накопленный опыт применения отдельных моделей привел исследователей к мысли о необходимости применения системного подхода к исследованию городских систем, рассматривающего город как сложную систему. Первой моделью, в которой предпринята попытка описать город как сложную систему, выделив в ней структурные элементы и взаимосвязи между ними, была модель Лоури [8, 9, 11]. Модель основана на предположении о гравитационном взаимодействии между районами пребывания людей и районами, их привлекающими. Модель Лоури нашла широкое применение и на ее основе было построено множество разнообразных моделей городов [9, 11, 12].

Первой моделью системного динамического описания городской системы является модель Форрестера [6]. Город рассматривается Форрестером как сложная социально-экономическая система, во взаимодействии с внешней окружающей средой, с нелинейными зависимостями между элементами системы, со множеством положительных и отрицательных обратных связей нелинейного порядка. В модели выделяются три подсистемы: предприятия и организации, жилой фонд,

население. Блоки подсистем описываются линейными разностными уравнениями, выявляющими динамику их развития; взаимосвязи между блоками — линейными или нелинейными алгебраическими уравнениями. Основными базовыми понятиями имитационной модели являются "уровень", "темп" и "цепь обратной связи". Все соотношения модели являются уравнениями двух видов: уровня и темпа (уровень в основном соответствует понятию "состояние", темп — описывает динамику системы). Процесс развития города, по Форрестеру, определяется взаимодействием трех основных подсистем: деловой сферы, жилого фонда и населения.

Модель Форрестера отражает динамику развития города с момента его рождения на протяжении нескольких десятилетий, исследуя эволюцию урбанизированной территории и влияние различных административных (муниципальных) программ управления городом и программ помощи городам. Модель Форрестера является моделью капиталистического города, так как в ней отражены типичные экономические и организационно-административные характеристики современных капиталистических городов. Однако подход к изучению городской системы и метод имитационного моделирования, предложенный для этих целей, представляют интерес.

Исследование городских систем в СССР развивается как по пути моделирования отдельных подсистем и процессов городского развития, задач городского планирования, так и в направлении применения системного подхода к моделированию городской системы в целом.

Наиболее значительной работой, посвященной проблемам системного исследования городского развития, является [11], обобщившая результаты очень многих исследований в этой области как в СССР, так и за рубежом. Внутренние процессы, происходящие как внутри города, так и в окружающей его среде, обусловленные взаимодействием элементов, составляющих город как сложную систему, можно объединить в три группы, называемые организациями. Выделяются: трудовая организация, объединяющая объекты приложения труда; жилая — включает все жилые объекты города; транспортная организация, связывающая трудовую и жилую и состоящая из городских магистралей и всех видов городского транспорта. Город не существует изолированно от внешней среды — последняя для него источник дополнительных трудовых ресурсов и обмена товарами. Различают внешний источник развития города — им является взаимодействие города и окружающей среды и внутренний источник — взаимодействие между тремя составными частями города. Процесс развития города проявляется, прежде всего, в увеличении территории, численности населения. Рост города приводит к усложнению процесса управления городом.

Важной задачей является исследование закономерностей городского развития и применение их для планирования развития города. Отличие города как динамической системы от прочих динамических систем

заключается, в первую очередь, в ее неоднородности — она включает в качестве отдельных элементов экономические, административные, социологические и т.д. Для исследования городской системы необходимо сформулировать критерии развития, попытаться построить модель городского развития и рассмотреть типы задач, возникающих при управлении развитием города. Основной задачей изучения городских систем является изучение внутренних механизмов взаимодействия в этих системах путем моделирования показателей процесса развития.

В городской системе выделяют, как правило, пять подсистем: промышленность, обслуживание, жилой фонд, транспорт, население. Изучение городской системы можно начинать с моделирования ее подсистем [11]. Затем осуществляют переход к построению моделей развития, включающих как составные части модели подсистем и взаимодействие между ними (гравитационный, энтропийный подходы, функционально-пространственная модель) [11].

Задачи оптимального планирования городской системы, для которых получены определенные результаты с помощью математического моделирования, можно классифицировать, разделив их на три группы: 1) задачи размещения; 2) задачи исследования транспортной подсистемы города; 3) игровые задачи городского планирования, позволяющие исследовать конфликтные ситуации, являющиеся следствием многокритериальности оценки показателей развития городской системы и противоречивости этих критериев [11, 12]. Наиболее исследованными являются задачи изучения и оптимизации транспортных сетей города, здесь накоплено достаточно много полезных результатов.

Игровые задачи городского планирования включают в себя, наряду с задачами классической теории игр, также так называемые деловые игры, наиболее важным и перспективным направлением развития которых являются игровые имитации, соединяющие методы имитационного моделирования с системами правил игры. Подробный обзор различных подходов к игровой имитации городских процессов, способов применения городских игр и основных характеристик разработанных городских игр (в основном разработанных и применяемых в США, Англии, Франции) дан в книге [13]. Одной из самых старых и известных городских игр является GLUG (1963 г.), разработанная А.Фельдтом и послужившая основой для разработки целой серии так называемых игр землепользования, имитирующих развитие нового города на незастроенной территории. Разработанная в США игра APEx имитирует развитие агломерации и является одной из наиболее сложных и насыщенных игр. Рассматриваемые в [13] городские игры охватывают большой круг проблем городского развития и достаточно полно характеризуют возможности метода игровой имитации.

Как отмечается в [12], чрезвычайно важными для формирования показателей состояния городской системы являются задачи размещения. К этому классу задач относят как задачи "физического" разме-

щения на территории города различных объектов, так и задачи этапности застройки, выбора ее местоположения и т.д.

Важным направлением применения экономико-математического моделирования при решении проблем, связанных с размещением, является разработка идей системного анализа и макросистемного подхода к моделированию городских систем. В рамках этого направления, начало которому было положено гравитационными моделями Лоури, задачи размещения рассматриваются в комплексе проблем оптимизации планировочных структур городов в целом. Планировочные структуры современных городов не лишены недостатков, одним из путей преодоления которых является возвращение целостности городской среде, утраченной ею из-за следования в построении городской функциональной структуры принципу "труд-быт-отдых".

Последствиями этого явились [11]: оторванность жилья в структуре современного города, замкнутость жилых образований, их отдаленность и изолированность от сосредоточенных в центральных частях города основных деловых, культурных и обслуживающих центров; неравномерная загрузка и неэффективное использование транспортной сети города; диспропорции в дневной и вечерней плотности населения различных районов города. Поэтому чрезвычайно важными являются исследования закономерностей функционально-пространственной организации городов методами математического моделирования, которые могут стать инструментом для выработки наиболее целесообразных планировочных решений, позволяющих органично вплести места размещения жилой застройки в ткань городской среды с учетом основных принципов функционирования городской системы в целом.

Важным аспектом изучения проблем размещения являются вопросы комплексного исследования целесообразной организации урбанизированной территории. Один из подходов к такому изучению, как указывается в [14], состоит в формировании основных принципов оптимального планирования урбанизированной территории, т.е. в определении количественных критериев для оценки качества планировочных решений; другим подходом является использование для территориального планирования урбанизированной территории имитационного моделирования поведения жителей, пользующихся расположенными на изучаемой территории объектами ("поведенческий подход" — [14]). Этот подход является развитием гравитационных моделей Лоури и энтропийных моделей Вильсона. Модели городских систем, позволяющие путем имитации поведения жителей при выборе взаимодействующих объектов пользования определять структуру функционально-пространственной организации урбанизированной территории, были названы функционально-пространственными [11; 12; 14; 15].

В основе построения функционально-пространственных моделей лежит макросистемное представление урбанизированной территории.

В макросистеме выделяют два уровня — микроуровень со случайными связями между элементами и макроуровень с детерминированными связями между параметрами (городская система представляется, таким образом, в виде двухслойной стохастически-детерминированной системы). В качестве элементов городской системы рассматриваются жители; на микроуровне происходят стохастические взаимодействия между элементами и объектами различных функциональных подсистем городской системы. Макроуровень системы образуют подсистемы, объединяющие функционально однородные объекты; состояние подсистем характеризуется детерминированными параметрами (количество рабочих мест в градообразующей и градообслуживающей сферах, емкости объектов жилого фонда и т.д.).

Характер формирования соединений подсистем является случайным — они образуют вероятностно-иерархические цепочки, в которых каждая из подсистем может находиться на любом из уровней иерархии с некоторой вероятностью. Такой тип взаимодействия связан с ограниченностью ресурсов, которая не позволяет удовлетворить потребности всех подсистем, и поэтому приходится устанавливать их приоритетность.

Этот подход был использован при формировании функционально-пространственной модели г.Москвы [11; 14]. Макроуровень модели содержал три подсистемы: градообразующая сфера, обслуживание (двух типов — общегородское и микрорайонное), население. Территория города разбивалась на 425 районов. Процесс выбора (предполагалось, что различные по функциональному назначению объекты выбираются независимо друг от друга) объектов жителями (элементами) осуществлялся на реальной транспортной сети и характеризовался функциями предпочтения, в качестве аргументов которых принималось время поездки. Разработанная модель позволяла ответить на следующие вопросы при различных вариантах развития городской системы:

как распределяются на территории города места жительства и объекты общегородского и микрорайонного обслуживания при заданном распределении объектов градообразующей сферы;

каково влияние районов с фиксированным населением на распределение мест жительства и объектов обслуживания;

как влияют изменения транспортной сети на распределение мест жительства и объектов обслуживания.

Такая модель предназначена для использования в общей процедуре комплексного анализа пространственной организации городской системы. Функционально-пространственная модель универсальна и может быть использована для решения самых разнообразных задач исследования закономерностей развития городской системы при различных характеристиках подсистем макроуровня. Функционально-пространственные модели могут рассматриваться как инструмент оптимизации социального развития городских систем, так как для целей социально-го планирования необходимо исследовать закономерности развития

города как сложной социально-экономической системы, все элементы и сферы жизни которой взаимосвязаны и влияют друг на друга. Действительно, функционально-пространственная организация городской системы тесно связана с понятием "социально-пространственной среды", смысл которого состоит в существовании взаимодействия социальных и пространственных факторов на различных уровнях развития городской системы, возникающего из-за тесной взаимной обусловленности "между поведением человека в городе и тем пространственным окружением, в котором человек формируется, живет, действует" [16, с.7].

Включение в функционально-пространственные модели показателей социального развития городских систем (свободное время населения, динамика социальной структуры населения, степень удовлетворенности развитием социальной инфраструктуры и др.) позволит использовать их для анализа особенностей формирования социально-пространственной среды города, включающих исследование таких проблем, как влияние конкретной городской среды на эффективность работы размещенных в ней предприятий, учреждений и организаций; исследование условий взаимного соответствия размещаемых объектов и городской среды; влияние градостроительной ситуации на процессы воспитания жителей, их обучение, трудовую деятельность, культуру и пр. [16].

Необходимо отметить важность метода имитационного моделирования при исследовании городских систем, дающего возможность изучать сложные взаимодействия между городскими подсистемами и составляющими их элементами и отражать динамический и вероятностный характер многих процессов городского развития.

Эффективным методом имитационного моделирования, нашедшим свое применение в задачах социального планирования развития города, является метод вероятностно-автоматного моделирования. Этот метод начал разрабатываться в Институте кибернетики АН УССР в 60-е годы для построения статистических моделей экономических и производственных систем. К достоинствам метода автоматного моделирования, обусловившим его широкое и эффективное применение, относятся простота в отражении алгоритмических и структурных особенностей функционирования систем, возможности максимальной унификации и стандартизации построения модели, имитационного алгоритма и программной реализации. Применение автоматного моделирования наиболее целесообразно для исследования сложных динамических вероятностных систем и объектов и предполагает построение соответствующих автоматных моделей с дальнейшим имитационным экспериментом на ЭВМ с целью выбора оптимальных вариантов и характеристик функционирования изучаемых систем и объектов. Основы метода и описание конкретных моделей приведены в монографиях [17; 18].

Метод вероятностно-автоматного моделирования получил широкое распространение: к настоящему времени известно более 120 крупных задач технического и народнохозяйственного содержания, для решения которых использован этот метод [19].

Основными понятиями автоматного моделирования являются вероятностный автомат и система вероятностных автоматов. Под вероятностным автоматом понимается некоторый объект, обладающий внутренним состоянием, способностью восприятия входного сигнала и выдачи выходного. Таким образом, для автомата в каждый момент времени рассматриваются три различные величины: внутреннее состояние, входной сигнал и выходной сигнал, т.е. для автомата необходимо задать его внутренний алфавит (множество допустимых значений внутреннего состояния), входной и выходной алфавиты (множества всех возможных значений, которые может принимать входной и выходной сигнал).

Рассматриваемый в дальнейшем автомат является дискретным (цифровым) инициальным (с закрепленным начальным состоянием) вероятностным автоматом Мура с детерминированными выходами. Это означает, что изменение состояний автомата и выдача выходных сигналов происходят лишь в целочисленные моменты времени, начальное состояние автомата является строго закрепленным, вероятностный фактор участвует только в формировании внутреннего состояния автомата, значение выходного сигнала зависит от значения входного сигнала лишь через внутреннее состояние.

Для задания автомата необходимо задать также его начальное состояние, входящее в его внутренний алфавит. Кроме того, обязательно задание правила, на основании которого формируется состояние автомата в каждый момент времени, зависящее от состояния в предыдущий момент времени, значения входного сигнала и вероятностного фактора. Наконец, для задания автомата необходимо определить правило, на основании которого происходит выбор выходного сигнала, т.е. некоторую функцию, определенную на внутреннем алфавите автомата и принимающую значения из его выходного алфавита.

Таким образом, инициальный вероятностный автомат Мура может быть задан совокупностью шести объектов: $X, U, H, a_0, A(x), \varphi(a)$, где X, U, H — соответственно, входной, внутренний и выходной алфавит автомата; a_0 — начальное состояние ($a_0 \in H$); $A(x)$ — семейство стохастических матриц, определяющих правило перехода автомата из одного состояния в другое ($x \in X$); $\varphi(a)$ — функция выходов ($a \in U, \varphi(a) \in H$).

Необходимо отметить, что, как правило, задание автоматов с помощью системы матриц $A(x)$, во многих случаях состоящей из бесконечного (счетного) количества матриц, оказывается весьма сложным и не всегда удобным. Поэтому целесообразно стремиться к более простому описанию. Таким является построение так называемых таблиц

условных функционалов переходов (ТУФП), когда система стохастических матриц $A(x)$ заменяется конечной системой логических высказываний относительно внутреннего состояния автомата и его входного сигнала и соответствующей ей системой условных функционалов переходов.

Важным обстоятельством является то, что всякий вероятностный автомат можно рассматривать как обобщение понятия марковской цепи, однородной или неоднородной. Вероятностный автомат тогда и только тогда является однородной марковской цепью, когда последовательность входных сигналов представляет собой реализацию взаимно независимых, одинаково распределенных случайных величин, либо когда входной сигнал вообще не участвует в переисчислении состояний автоматов. Случай неоднородной марковской цепи (т.е. когда матрица переходов, управляющая поведением цепи, зависит от времени) аналогичен вероятностному автомату, на вход которого подается последовательность $x(t) = t$ ($t = 0, 1, 2, \dots$).

Модели реальных исследуемых процессов и систем представляют собой систему вероятностных автоматов, т.е. некоторую определенным образом связанную между собой совокупность вероятностных автоматов. Объединение автоматов в систему происходит следующим образом — выходные сигналы одних автоматов отождествляются с входными сигналами других. Будем предполагать, что рассматриваемые автоматы обладают в каждый момент одномерным (числовым), а не векторным внутренним состоянием, что количество автоматов в системе является конечным или счетным и что все автоматы функционируют в режиме единого дискретного времени.

В тех случаях, когда некоторый реальный объект требует при моделировании задания не одной (одномерной) величины, а нескольких, модель этого объекта описывается с помощью нескольких автоматов. Исключим также случаи, когда выходной сигнал автомата отождествляется с одним из его входных сигналов, т.е. будем считать, что выходные сигналы любого автомата подаются только на другие автоматы, причем предполагается, что от одного автомата к другому передается лишь один сигнал, а не несколько (в то же время к некоторому автомату может поступать несколько сигналов сразу от нескольких автоматов). Как уже отмечалось, автомат в каждый момент времени обладает одномерным внутренним состоянием, но на формирование новых состояний автоматов могут оказывать влияние старые состояния нескольких автоматов, т.е. предполагается возможность векторного сигнала. Так, если состояние некоторого автомата A зависит от состояния трех автоматов B, C, D , то входным сигналом $x(t)$ автомата A в момент времени t можно считать упорядоченную тройку чисел $\{y_1(t); y_2(t); y_3(t)\} = x(t)$, где $y_1(t), y_2(t), y_3(t)$ — сигналы, передаваемые в момент t соответственно от автоматов B, C, D к автомату A .

Таким образом, для задания системы вероятностных автоматов в не-

обходимо: 1) задать каждый из автоматов системы в отдельности; 2) указать на наличие или отсутствие связей для каждой упорядоченной пары автоматов системы. В качестве способа описания взаимосвязей между автоматами системы может быть использован граф межавтоматных связей. Структура системы представляется в виде направленного графа, между вершинами которого и автоматами системы установлено взаимно однозначное соответствие. На основании сделанных выше предположений относительно сигналов автоматов можно установить следующие свойства графа межавтоматных связей: 1) в нем нет петель; 2) для каждой пары вершин существует не более одной дуги, соединяющей их в одном и том же направлении; 3) если имеется дуга, направленная от одной вершины к другой, то в графе возможно наличие другой дуги, соединяющей те же вершины в противоположном направлении.

Описание структуры системы автоматов с помощью графа межавтоматных связей является, с одной стороны, наглядным, а с другой — довольно громоздким в случае, когда система состоит из значительного числа автоматов. Поэтому для систем с большим числом автоматов и межавтоматных связей более удобным является матричное описание структуры, представляющее собой квадратную матрицу структуры системы, порядок которой совпадает с числом автоматов системы. В качестве элементов такой матрицы могут быть взяты 0 и 1, где 0 будет означать отсутствие связей, а 1 — наличие связей.

Представляется целесообразным алфавиты автоматов (внутренний, входной, выходной) задавать с учетом матрицы структуры системы, заменив матрицу структуры матрицей алфавитов. В этом случае вместо 1, фигурирующих в матрице структуры системы, ставятся обозначения соответствующих алфавитов. Полученная матрица даст полное представление о внутреннем алфавите и алфавитах всех входных и выходных сигналов. В качестве алфавитов могут, к примеру, рассматриваться такие: множество всех натуральных чисел; некоторая произвольная упорядоченная последовательность двоичных символов; множество всех положительных чисел и т.п. Матрица алфавитов автоматной системы будет характеризовать с качественной стороны все межавтоматные связи системы. Необходимо отметить, что между матрицей алфавитов и ТУФП автоматной системы с очевидностью должна существовать следующая зависимость: при подстановке в любой функционал этой системы значений входящих в него сигналов, взятых из соответствующих алфавитов, должно получиться значение функционала, принадлежащее внутреннему алфавиту рассматриваемого автомата.

Для задания начального состояния системы необходимо записать начальные состояния всех ее автоматов в порядке, соответствующем нумерации автоматов. Такое задание начального состояния назовем вектором начальных состояний — каждая компонента вектора начальных состояний должна принадлежать внутреннему алфавиту соответ-

ствующего автомата. Для полного задания системы вероятностных автоматов необходимо также определить функции выходов для каждого автомата. В одних случаях можно предполагать, что выходные сигналы совпадают с внутренними состояниями соответствующих автоматов, в других, когда все межавтоматные связи двоичны, можно выразить функции выходов в виде соответствия между обозначениями выходных сигналов и некоторыми логическими высказываниями, в случае истинности которых выходной сигнал принимает значение 1. В более сложных случаях функции выходов различных автоматов описываются с помощью различных формул и вычислительных алгоритмов. Информацию, полностью описывающую функции выходов всех автоматов системы, назовем системой функций выходов вероятностно-автоматной системы.

Еще одним объектом, характеризующим задание системы автоматов, является система распределений независимых случайных величин, фигурирующих в ТУФП. Для описания системы распределений необходимо описать каждую из случайных величин в отдельности, задав функциональную форму распределения (т.е. вид распределения и все параметры, входящие в него).

Таким образом, система вероятностных автоматов полностью задается с помощью следующих пяти объектов: матрицы алфавитов (МА); системы функций выходов (СФВ); вектора начальных состояний (ВНС); ТУФП; системы распределений независимых случайных величин (СРСВ).

Важным аспектом автоматного моделирования является то, что не для всякой многомерной цепи Маркова удастся построить автоматную модель, и проблемой здесь является наличие или отсутствие у цепи такого свойства, как свойство условной независимости компонент. Проведены теоретические исследования [18] (основанные на теории случайных процессов), показавшие, что при достаточно широких предположениях исходную многомерную марковскую цепь можно привести к цепи, обладающей свойством условной независимости компонент. Это обстоятельство является очень существенным, так как обосновывает возможность построения автоматных моделей для широкого класса систем.

При построении и исследовании автоматных моделей для решения задач оптимизации реальных процессов и объектов существенную роль играет правильный выбор критериев эффективности работы исследуемой системы. Решение задачи с помощью автоматной модели будет состоять в выборе из множества значений совокупности регулируемых параметров таких значений, при которых критерий, выраженный в виде целевой функции, принимает минимальное (максимальное) значение. Определение совокупности регулируемых параметров зависит от характера исследуемой системы — к примеру, в самых простых случаях поведение системы может исследоваться при нескольких заданных ва-

риантах развития (в задачах выбора оптимального проекта). Часто приходится исследовать поведение системы с учетом нескольких критериев эффективности. Перспективным направлением является сочетание имитационного моделирования с оптимизационными методами, когда в автоматные модели добавляется оптимизационный блок, предназначенный для определения правил выбора регулируемых параметров с целью получить оптимальное значение целевой функции.

Важным этапом имитационного исследования является разработка вычислительного алгоритма и машинной программы. Для автоматных моделей моделирующий алгоритм состоит из двух вложенных блоков: первый, внутренний, служит для перевычисления значений внутренних состояний и выходных сигналов всех автоматов автоматной модели при переходе к следующей единице времени; второй, внешний, имитирует поведение всей системы на некотором конечном промежутке времени T . Величина T выбирается так, чтобы обеспечить удовлетворительную точность получения требуемых неслучайных характеристик.

Опыт применения автоматного моделирования в различных задачах показал целесообразность разработки так называемых многоцелевых специализированных имитационных систем (МСИС). МСИС представляет собой проблемно-ориентированный пакет программ, основой которого является единая имитационная модель, построенная методом автоматного моделирования и предназначенная для решения определенного класса задач. МСИС оснащаются входным языком заданий, позволяющим настраивать систему на решение конкретных задач, средствами диалога, организации и управления информационными массивами, редактирования выходных документов.

Разработанные в последнее время в Институте кибернетики МСИС предназначены для решения широкого класса задач, связанных с оптимизацией социального развития городов.

2. БЮДЖЕТ ВРЕМЕНИ НАСЕЛЕНИЯ

Важной социальной проблемой является расширение границ и совершенствование структуры свободного времени населения, так как в целом "время есть пространство человеческого развития" [Маркс К., Энгельс Ф. Соч. — Т.16. — С.147]. Увеличение времени, используемого на самообразование, повышение культурного уровня, совершенствование физического развития, семейное и дружеское общение, воспитание детей, отдых способствует всестороннему развитию трудящихся. Свободное время является богатством общества: чем больше величина свободного времени членов общества, тем выше уровень их интеллектуального и физического развития. Практическому решению проблемы увеличения и совершенствования использования свободного време-

ни служат исследования и анализ закономерностей формирования бюджетов времени как населения в целом, так и отдельных социальных групп.

Многоцелевая специализированная имитационная система ВОКОН ("Временная оценка качества обслуживания населения" [20]), основой которой является имитационная модель бюджета времени населения, предназначена для решения широкого класса задач, связанных с оптимизацией развития городской среды на стадии градостроительного проектирования (разработка генеральных планов городов, проектов детальных планировок районов, размещения различных объектов). Город в модели представлен в виде целостной функционально-пространственной структуры, а бюджет времени населения формируется как результат повседневной жизнедеятельности населения на этой функционально-пространственной структуре (повседневную жизнедеятельность населения можно рассматривать как процесс использования разнообразных видов обслуживания: транспортного, бытового, торгового, культурного и др., предоставляемых населению городом при той или иной его функционально-пространственной структуре — отсюда название системы: "Временная оценка качества обслуживания населения").

Каждому исследуемому варианту проектируемой или реконструируемой функционально-пространственной структуры $\bar{S}_i$ ($i \in \bar{T}$, где $\bar{T}$ — множество исследуемых вариантов) система ВОКОН ставит в соответствие величину $\bar{T}_i$ средневзвешенного свободного времени населения. Критерий эффективности функционально-пространственной организации городской системы, на основании которого выбирается наилучший вариант, в данном случае строится на основе величины свободного времени населения.

Система ВОКОН является первой попыткой применения имитационных методов к задачам временной оценки эффективности функционально-пространственной структуры городской системы на основе моделирования бюджета времени населения.

МСИС ВОКОН может применяться также как инструмент исследования и оптимизации социальных нормативов, используемых в практике социального проектирования городского развития. Под социальными нормативами понимают научно обоснованные требования, предъявляемые к условиям деятельности человека во всех сферах общественной жизни [21]. МСИС ВОКОН целесообразно использовать для оптимизации социальных нормативов, связанных с архитектурно-планировочными решениями, т.е. показателей обеспеченности транспортом, учреждениями торговли, быта, школами и др. В комплексе с оптимизацией планировочной структуры города МСИС ВОКОН позволяет исследовать направления оптимизации развития социальной инфраструктуры города (социальную инфраструктуру определяют как "совокупность объектов отраслей сферы обслуживания населения, деятельность которых направлена на удовлетворение личных потребностей, обеспе-

чение жизнедеятельности и интеллектуального развития населения" [22, с.38]), получая научно обоснованные оценки качества обслуживания населения для различных вариантов территориального размещения объектов обслуживания и их типов, а также давая возможность сравнительной оценки качества обслуживания (с целью его выравнивания) по отдельным территориальным или административным районам города, микрорайонам и т.д.

Результаты работы МСИС ВОКОН применимы также для исследования особенностей образа жизни отдельных социальных групп, а также проблем, связанных с определением рациональных норм времени, затрачиваемых различными социально-демографическими и социально-профессиональными группами населения на удовлетворение потребностей в различных видах обслуживания.

Таким образом, МСИС ВОКОН может служить инструментом при исследовании различных аспектов социального развития городской системы, связанных с созданием рациональной городской среды.

В качестве единицы автоматного времени в модели выбраны одни сутки, а внутри суток время измеряется в часах и долях часов. Время моделируется с помощью двух специальных счетчиков-автоматов: счетчика времени и календаря, определяющего текущий номер дня недели (в модели учитывается, что характер расхода времени в выходные и рабочие дни различен).

Рассмотрим некоторые важные положения, которыми необходимо руководствоваться при проведении исследования бюджетов времени. Различные социально-экономические условия, различные цели исследования требуют различного подхода к структуре фонда времени и классификации затрат времени. В основном выделяют три основных подхода к структуре фонда времени: физиологический (С.Г.Струмилин, 20-е годы), производственный (Институт экономики и организации промышленного производства СО АН СССР, 50—60-е годы) и общественный, который еще предстоит развить [23]. Достаточно универсальной, подробной и последовательной следует признать классификацию затрат времени, разработанную под руководством Г.А.Пруденского сотрудниками Института экономики и организации промышленного производства СО АН СССР. Эта классификация четко разграничивает рабочее время, время домашнего труда, удовлетворения физиологических потребностей и позволяет производить ряд новых группировок, классификаций затрат времени (к примеру, по месту совершения затрат, с выделением времени передвижения и т.д.), а также может быть соотнесена с другими построениями фонда времени с целью сравнения результатов исследований.

Классификация представляет собой четырехуровневую систему затрат времени по двум типам времени — рабочему и внерабочему. Первый уровень этой классификации состоит из 140 первичных статей расхода времени [23].

Целью исследования бюджетов времени населения является определение основных факторов, обуславливающих использование времени, в выявлении устойчивых связей и закономерностей между отдельными затратами времени и тенденцией их изменения, изучение структуры и содержания затрат времени, в том числе на отдельные виды деятельности у различных групп населения. Это сделает возможным перспективные расчеты бюджета времени для отдельных групп населения при планируемых условиях труда и жизни, необходимые, в частности, при проектировании и создании материально-пространственной среды жизнедеятельности.

Остановимся подробнее на классификации статей расхода времени, используемой в модели. Основным требованием, предъявляемым к такой классификации, является строго однозначная разграниченность статей расхода времени, что позволяет легко определять ту статью расхода времени, к которой относится время на удовлетворение той или иной потребности. На основании уже существующих классификаций была разработана классификация, приспособленная для моделирования процесса. Суточный фонд времени (24 часа) условно разделяется на необходимое и относительно свободное время. Необходимое время включает в себя статьи расхода времени, связанные с производственной деятельностью человека и процессами регулярной повседневной жизни, и подразделено на: 1) неотложное необходимое время, включающее рабочее время (работа на производстве и учеба с отрывом от производства) и связанное с ним транспортное время следования на работу (учебу) и обратно, время сна и удовлетворения других физиологических потребностей, а также время удовлетворения срочных потребностей в обслуживании (т.е. потребностей, которым отдается предпочтение по отношению к работе и сну: несчастные случаи, болезни родственников, срочные вызовы в административные учреждения); 2) текущее необходимое время, включающее время пользования различными видами услуг (торговых предприятий, предприятий коммунально-бытового обслуживания, общественного питания, медицинских учреждений и др.) и связанное с этим транспортное время.

Относительно свободное время подразделяется на три подгруппы: 1) относительно необходимое время, к которому относятся статьи расхода времени, включающие те мероприятия, начало и конец которых может переноситься в течение суток (работа по домашнему хозяйству, приготовление пищи, общественная работа, вечернее обучение и др.); 2) организованное свободное время, включающее время на пользование услугами учреждений культурно-просветительного, спортивного и рекреационного профиля (посещение кинотеатров, спортивных мероприятий, загородные прогулки и т.п.); 3) самодеятельное свободное время, к которому относится время, затрачиваемое на мероприятия самостоятельного (самодеятельного) отдыха (чтение, просмотр телепрограмм, общение с друзьями и знакомыми и др.).

Процесс моделирования бюджета времени населения осуществляется следующим образом: из суточного фонда времени (24 часа) последовательно вычитаются неотложное необходимое время, основная часть текущего необходимого времени, относительно необходимое время, организованное свободное время и соответствующее ему дополнительное транспортное время. В процессе моделирования используются также еще два временных понятия: потенциально необходимое время обслуживания (т.е. то общее время, которое требовалось бы на удовлетворение всех появившихся потребностей) и потенциальное транспортное время (т.е. время на передвижение, которое понадобилось бы при условии удовлетворения всех появившихся потребностей).

В модели предполагается, что появление потребностей, отнесенных к текущему необходимому, относительно необходимому, организованному свободному времени и срочным потребностям в обслуживании, носит случайный характер (т.е. на каждом элементарном цикле моделирования каждая случайная потребность возникает с некоторой вероятностью p и не возникает с вероятностью $(1-p)$). Вероятности возникновения разнообразных потребностей у различных групп населения, бюджет времени которых исследуется, определяются на основе специальных статистических данных и опросов.

Статьи расхода времени, отнесенные к неотложному необходимому времени, считаются постоянными, но время сна и время удовлетворения других физиологических потребностей зависит от степени загруженности дня другими случайно возникшими потребностями. В связи с этим в модели рассмотрена возможность существования трех различных режимов уплотнения времени в течение суток — свободный, нормальный, уплотненный, — отличающихся величинами времени сна и удовлетворения других физиологических потребностей.

В модели учитывается, что вероятности возникновения потребностей, относящихся к организованному свободному времени, зависят от удаленности соответствующих культурно-массовых учреждений по отношению к месту жительства (характер зависимости определяется на основании статистических данных, а выражается в увеличении значения вероятности с сокращением расстояния до объекта обслуживания).

Моделирование бюджета времени осуществляется в отдельности для каждой из выделенных групп населения (группы должны выделяться по принципу сходства образа жизни, т.е. характера возникновения различных потребностей и затрат времени); а затем находятся средневзвешенные показатели бюджета времени населения. В частности, для практических расчетов в данном случае были выделены 6 групп населения, для каждой из которых моделировался бюджет времени: 1. работающие семейные женщины; 2. работающие семейные мужчины; 3. работающие несемейные мужчины и женщины; 4. школьники и учащиеся техникумов и ПТУ; 5. студенты и аспиранты, обучающиеся с отрывом от производства; 6. неработающие пенсионеры и домохозяйки.

В зависимости от целей исследования бюджета времени населения может изменяться и структура рассматриваемых групп, к примеру, можно выделить различные социальные группы и исследовать для них бюджет времени.

Введем обозначения для величин, используемых в модели. Пусть r — номер жилищной (территориальной) единицы ($r = \overline{1, R}$, где R — количество выделенных жилищных единиц в данном регионе: в качестве жилищных единиц могут рассматриваться отдельные жилые дома или их группы, кварталы и микрорайоны и т.д.);

k — номер группы населения ($k = \overline{1, K}$);

$N_k^{(r)}$ — численность k -й группы населения в r -й жилищной единице ($k = \overline{1, K}; r = \overline{1, R}$);

(i, j) — пара номеров, обозначающих виды обслуживания, где

i — номер подотрасли (к примеру, здравоохранение, торговля промышленными товарами, внутригородской транспорт), j — вид обслуживания, предоставляемый подотраслью (к примеру, торговля овощами, торговля мясом и т.п. в подотрасли "торговля продовольственными товарами"), $i = \overline{1, I}; j = \overline{1, J_i}$; где I — количество подотраслей, J_i — количество видов услуг в i -й подотрасли.

Конкретно в модели было выделено 11 основных подотраслей обслуживания и одна условная подотрасль, включающая в себя те виды обслуживания, которые выполняются дома (стирка белья, уборка и т.п.). Рассматривается также подотрасль под номером 12, в которую входят все виды обслуживания, связанные с культурно-спортивными и рекреационными мероприятиями. Количество видов услуг, предоставляемых этими подотраслями, обозначим соответственно, L, L_1, L_2 , где $\sum_{i=1}^{11} J_i = L, \sum_{i=0}^{11} J_i = L_1, \sum_{i=0}^{12} J_i = L_2$.

Вся информация, используемая в модели, подразделяется на абсолютно постоянную и относительно постоянную. Абсолютно постоянная информация характеризует рассматриваемый регион в целом, а условно постоянная — конкретную жилищную единицу.

Пусть далее

$\tau_1^{(k)}$ — пороговое значение временных потребностей представителя k -й группы населения в будничные дни, разграничивающее свободный и нормальный режимы;

$\tau_2^{(k)}$ — то же, что $\tau_1^{(k)}$ для разграничения нормального и уплотненного режима;

$\tau_3^{(k)}$ — то же, что $\tau_1^{(k)}$ для нерабочих дней;

$\tau_4^{(k)}$ — то же, что $\tau_2^{(k)}$ для нерабочих дней;

$\tau_5^{(k)}$ — среднее время сна представителей k -й группы населения (в свободном режиме);

$\tau_6^{(k)}$ — среднее время удовлетворения других физиологических потребностей k -й группы населения (в свободном режиме);

$\tau_7^{(k)}$ — продолжительность рабочего дня на производстве (при $k = \overline{1,3}$) учебного дня (при $k = \overline{4,5}$) и 0 при $k = 6$;

$\Delta\tau_1^{(k)}$ — величина, на которую сокращается время сна при нормальном режиме по сравнению со свободным;

$\Delta\tau_2^{(k)}$ — величина, на которую сокращается время сна при уплотненном режиме по сравнению с нормальным;

$\Delta\tau_3^{(k)}$ — то же, что $\Delta\tau_1^{(k)}$, для времени удовлетворения других физиологических потребностей;

$\Delta\tau_4^{(k)}$ — то же, что $\Delta\tau_2^{(k)}$, для времени удовлетворения других физиологических потребностей;

γ_l ($l = 1, 2, \dots$) — коэффициент сокращения транспортного времени при повторном обслуживании.

К относительно постоянной информации относятся следующие величины:

$a(i, j)$ — среднее время обслуживания типа (i, j) одного клиента, не считая транспортного времени;

$\tau_8(i, j)$ — транспортное время обслуживания типа (i, j) ;

$\tau_9^{(k)}$ — среднее время следования на работу и с работы ($k = \overline{1,3}$), в учебное заведение и обратно ($k = \overline{4,5}$) и 0 при $k = 6$.

Для каждой жилищной единицы величины $a(i, j)$ вычисляются в зависимости от существующей мощности соответствующего предприятия обслуживания. При вычислении этих величин используется результат актуализации имеющейся информации. При вычислении $\tau_9^{(k)}$ применяется метод потенциалов [24].

Переходим к идентификации внутренних состояний автоматов имитационной модели. Введем обозначения:

$a_{ij}^{(k)}(t)$ — возраст текущей потребности в обслуживании вида (i, j) для представителя k -й группы населения за t -ю единицу времени (в модели предполагается, что если потребность вида (i, j) не может быть удовлетворена в момент ее появления из-за недостатка времени, то она откладывается и приобретает "возраст", измеряемый в сутках);

$b_1^{(k)}(t)$ — величина, равная единице, если за $(t+1)$ -ю единицу времени для представителя k -й группы населения возникает потребность в срочном обслуживании, и 0 — в противном случае;

$b_2^{(k)}(t)$ — то же, для t -й единицы времени;

$c_1^{(k)}(t)$ — время суток возникновения потребности в срочном обслуживании для представителя k -й группы населения за t -ю единицу времени;

$c_2^{(k)}(t)$ — транспортное время при удовлетворении возникшей потребности в срочном обслуживании;

$c_3^{(k)}(t)$ — время обслуживания при удовлетворении возникшей потребности в срочном обслуживании;

$d_1^{(k)}(t)$ — текущее необходимое время представителя k -й группы населения за t -ю единицу времени;

$d_2^{(k)}(t)$ — необходимое время представителя k -й группы за t -ю единицу времени;

$d_3^{(k)}(t)$ — относительно необходимое время представителя k -й группы за t -ю единицу времени;

$d_4^{(k)}(t)$ — организованное свободное время представителя k -й группы за t -ю единицу времени;

$d_5^{(k)}(t)$ — самостоятельное свободное время представителя k -й группы за t -ю единицу времени;

$d_6^{(k)}(t)$ — относительно свободное время представителя k -й группы населения за t -ю единицу времени;

$f_n^{(k)}(t)$ — накопленное на момент t значение соответствующей статьи расхода времени для представителя k -й группы населения ($n = \overline{1,6}$);

$g_n^{(k)}(t)$ — приближенное значение соответствующей статьи расхода времени для представителя k -й группы населения, полученного усреднением по промежутку времени t ;

$h_4(t)$ — средневзвешенное организованное свободное время по рассматриваемой жилищной единице;

$h_5(t)$ — средневзвешенное самостоятельное свободное время по рассматриваемой жилищной единице;

$h_6(t)$ — средневзвешенное относительно свободное время по рассматриваемой жилищной единице;

$x(t)$ — календарь (день недели);

t — текущее время моделирования.

Далее необходимо ввести обозначения для промежуточных величин [18], которые по сути представляют алгоритмы преобразования выходных сигналов во входные. Имеем:

$\theta^{(k)}(t)$ — потенциально необходимое транспортное время всех видов обслуживания представителя k -й группы населения;

$u_0^{(k)}(t)$ — потенциально необходимое время удовлетворения всех возникших потребностей в обслуживании представителя k -й группы населения;

$u_1^{(k)}(t)$ — величина, равная 1, если на протяжении t -й единицы времени для представителя k -й группы населения существует нормальный или уплотненный режим, и 0 в противном случае;

$u_2^{(k)}(t)$ — то же, только для уплотненного режима;

$u_3^{(k)}(t)$ — неотложное необходимое время представителя k -й группы населения за t -ю единицу времени;

$m^{(k)}(t)$ — величина, равная 1, если день рабочий, и 0 — в противном случае;

$\{q_{1l}^{(k)}(t), q_{2l}^{(k)}(t)\}$ ($l = \overline{1, L_2}$) — последовательности первых и вторых индексов элементов матрицы $a_{ij}^{(k)}(t)$, упорядоченных по убыванию (последовательность видов обслуживания с возникшей потребностью, упорядоченная в порядке убывания приоритетности);

$R_l^{(k)}(t)$ ($l = \overline{1, L_2}$) — остаточное время, используемое при приня-

тии решения о распределении времени для l -го по приоритетности вида обслуживания;

$S_l^{(k)}(t)$ ($l = \overline{1, L_2}$) — транспортное время, используемое при принятии решения о распределении времени для l -го по приоритетности вида обслуживания;

$v_l^{(k)}(t)$ ($l = \overline{1, L_2}$) — величина, равная 1, если принято решение о выделении времени для l -го по приоритетности вида обслуживания и в противном случае;

$w_{ij}^{(k)}(t)$ — величина, равная 1, если за t -ю единицу времени для представителя k -й группы населения фактически удовлетворяется потребность в обслуживании типа (i, j) , в противном случае $w_{ij}^{(k)}(t) = 0$.

В модели используются следующие случайные величины: $\xi_{ij}^{(k)}$ — возникновение потребности в обслуживании типа (i, j) для представителя k -й группы населения;

$\eta^{(k)}$ — возникновение потребности в срочном обслуживании для представителя k -й группы населения;

$\eta_1^{(k)}$ — время суток возникновения потребности в срочном обслуживании;

$\eta_2^{(k)}$ — транспортное время, связанное с удовлетворением потребности в срочном обслуживании;

$\eta_3^{(k)}$ — продолжительность срочного обслуживания.

В модели функционируют два специальных оператора преобразования — операторы $\mathcal{N}$ и $\mathcal{M}$. Оператор $\mathcal{N}$ преобразует матрицу μ_{ij} в две числовые последовательности v_{1l} и v_{2l} ($l = \overline{1, L}$), т.е. $\{v_{1l}, v_{2l}\} = \mathcal{N}(\mu_{ij})$. Смысл работы оператора состоит в следующем: перебираются все ненулевые элементы матрицы μ_{ij} в порядке убывания их значений (в случае равенства значений элементов — в порядке возрастания индексов j и i). Каждый l -й шаг работы оператора заключается в определении пары (v_{1l}, v_{2l}) членов последовательности $\{v_{1l}, v_{2l}\}$, где v_{1l} равно первому индексу элемента матрицы, а v_{2l} — второму индексу этого элемента. Оператор $\mathcal{M}$ три последовательности $\{v_{1l}\}$, $\{v_{2l}\}$, $\{v_l\}$ преобразует в матрицу W_{ij} : $W_{ij} = \mathcal{M}(v_{1l}, v_{2l}, v_l)$. Этот оператор в цикл по l ($l = \overline{1, L}$) выполняет присваивание $w_{i^*j^*} = v_l$ для всех i^* , для которых $i^* = v_{1l}$, $j^* = v_{2l}$, полагая остальные элементы матрицы W_{ij} равными нулю. Содержательный смысл операторов $\mathcal{N}$ и $\mathcal{M}$ следующий: первый упорядочивает в модели возникшие потребности в соответствии с их возрастом, а второй определяет номера (i^*, j^*) потребностей, которые могут быть удовлетворены.

Для описания автоматной модели достаточно задать таблицу условий функциональных переходов (ТУФП), соотношения для вычисления промежуточных величин, систему распределений случайных величин (СРСВ) и вектор начальных состояний (ВНС).

ТУФП представим в виде системы независимых разностных стохастических уравнений:

$$a_{ij}^{(k)}(t+1) = \xi_{ij}^{(k)} (1 - (1 - w_{ij}^{(k)}(t)) \min \{1, a_{ij}^{(k)}(t)\}) +$$

$$+ (a_{ij}^{(k)}(t) + 1) (1 - w_{ij}^{(k)}(t)) \min \{1, a_{ij}^{(k)}(t)\};$$

$$b_1^{(k)}(t+1) = \eta^{(k)};$$

$$b_2^{(k)}(t+1) = b_1^{(k)}(t);$$

$$c_1^{(k)}(t+1) = b_1^{(k)}(t) \eta_1^{(k)};$$

$$c_2^{(k)}(t+1) = b_1^{(k)}(t) \eta_2^{(k)};$$

$$c_3^{(k)}(t+1) = b_1^{(k)}(t) \eta_3^{(k)};$$

$$d_1^{(k)}(t+1) = \sum_{i=1}^{11} \sum_{j=1}^{J_i} w_{ij}^{(k)}(t) a(i, j) + S_{L_2}^{(k)}(t);$$

$$d_2^{(k)}(t+1) = u_3^{(k)}(t) + S_{L_2}^{(k)}(t) + \sum_{i=1}^{11} \sum_{j=1}^{J_i} w_{ij}^{(k)}(t) a(i, j);$$

$$d_3^{(k)}(t+1) = \sum_{j=1}^{J_0} w_{0j}^{(k)}(t) a(0, j);$$

$$d_4^{(k)}(t+1) = \sum_{j=1}^{J_{12}} w_{12,j}^{(k)}(t) a(12, j);$$

$$d_5^{(k)}(t+1) = \max \{0, 24 - u_3^{(k)}(t) - S_{L_2}^{(k)}(t) - \sum_{i=0}^{12} \sum_{j=1}^{J_i} w_{ij}^{(k)}(t) a(i, j)\};$$

$$d_6^{(k)}(t+1) = \max \{0, 24 - u_3^{(k)}(t) - S_{L_2}^{(k)}(t) - \sum_{i=1}^{11} \sum_{j=1}^{J_i} w_{ij}^{(k)}(t) a(i, j)\};$$

$$f_n^{(k)}(t+1) = f_n^{(k)}(t) + d_n^{(k)}(t); \quad (n = \overline{1, 6});$$

$$g_n^{(k)}(t+1) = f_n^{(k)}(t) / \max \{1, t\}; \quad (n = \overline{1, 6});$$

$$h_n(t+1) = \sum_{k=1}^K N_k g_n^{(k)}(t) / \sum_{k=1}^K N_k; \quad (n = \overline{4, 6});$$

$$x(t+1) = (1 - \max \{0, x(t) - 6\}) (x(t) + 1) + \max \{0, x(t) - 6\}.$$

В процессе моделирования переывчисление состояний автоматов модели с помощью ТУФП может выполняться в любом порядке. Иначе обстоит дело с промежуточными величинами, которые должны вычисляться в строго определенном порядке. В данном случае этот порядок определяется той последовательностью, в которой будут даны соотношения для вычисления промежуточных величин:

$$m^{(k)}(t) = (1 - \min \{1, \max \{0, x(t) - 5\}\}) (1 - \min \{1, \max \{0, k - 5\}\}) +$$

$$+ \min \{1, \max \{0, x(t) - 5\}\} (1 - \min \{1, \max \{0, x(t) - 6\}\}) \min \{1, \max \{0, k - 3\}\} (1 - \min \{1, \max \{0, k - 5\}\});$$

$$\theta^{(k)}(t) = b_2^{(k)}(t) c_2^{(k)}(t) + \sum_{i=0}^{12} \sum_{j=1}^{J_i} \tau_8(i, j) \min \{1, a_{ij}^{(k)}(t)\};$$

$$u_0^{(k)}(t) = b_2^{(k)}(t) c_3^{(k)}(t) + \sum_{i=0}^{12} \sum_{j=1}^{J_i} \tau_8(i, j) \min \{1, a_{ij}^{(k)}(t)\};$$

$$u_1^{(k)}(t) = \begin{cases} 1 & \text{при } \theta^{(k)}(t) + u_0^{(k)}(t) \geq \tau_1^{(k)} m^{(k)}(t) + \tau_3^{(k)} (1 - m^{(k)}(t)) \\ 0 & \text{при } \theta^{(k)}(t) + u_0^{(k)}(t) < \tau_1^{(k)} m^{(k)}(t) + \tau_3^{(k)} (1 - m^{(k)}(t)) \end{cases};$$

$$u_2^{(k)}(t) = \begin{cases} 1 & \text{при } \theta^{(k)}(t) + u_0^{(k)}(t) \geq \tau_2^{(k)} m^{(k)}(t) + \tau_4^{(k)} (1 - m^{(k)}(t)) \\ 0 & \text{при } \theta^{(k)}(t) + u_0^{(k)}(t) < \tau_2^{(k)} m^{(k)}(t) + \tau_4^{(k)} (1 - m^{(k)}(t)) \end{cases};$$

$$u_3^{(k)}(t) = \min \{24, \max \{ \tau_5^{(k)} + \tau_6^{(k)} - (\Delta \tau_1^{(k)} + \Delta \tau_3^{(k)}) u_1^{(k)}(t) - (\Delta \tau_2^{(k)} + \Delta \tau_4^{(k)}) u_2^{(k)}(t) + (\tau_7^{(k)} + \tau_9^{(k)}) m^{(k)}(t),$$

$$b_2^{(k)}(t) (c_1^{(k)}(t) + c_2^{(k)}(t) + c_3^{(k)}(t)) \} - \max \{0, b_2^{(k)}(t) c_1^{(k)}(t) - \tau_5^{(k)} - \tau_6^{(k)} + (\Delta \tau_1^{(k)} + \Delta \tau_3^{(k)}) u_1^{(k)}(t) + (\Delta \tau_2^{(k)} + \Delta \tau_4^{(k)}) u_2^{(k)}(t) - (\tau_7^{(k)} + \tau_9^{(k)}) m^{(k)}(t) \};$$

$$\{q_{1l}^{(k)}(t), q_{2l}^{(k)}(t)\} = \mathcal{N}(a_{ij}^{(k)}(t)); \quad (l = \overline{1, L});$$

$$\{q_{1l}^{(k)}(t), q_{2l}^{(k)}(t)\} = \mathcal{N}(a_{oj}^{(k)}(t)); \quad (l = \overline{L+1, L_1});$$

$$\{q_{1l}^{(k)}(t), q_{2l}^{(k)}(t)\} = \mathcal{N}(a_{12,j}^{(k)}(t)); \quad (l = \overline{L_1+1, L_2});$$

$$R_0^{(k)}(t) = 24 - u_3^{(k)}(t);$$

$$v_l^{(k)}(t) = \begin{cases} 1 & \text{при } q_{2l}^{(k)}(t) > 0 \wedge R_{l-1}^{(k)}(t) > \gamma_l \tau_8(q_{1l}^{(k)}(t), q_{2l}^{(k)}(t)) + \\ & + \alpha(q_{1l}^{(k)}(t), q_{2l}^{(k)}(t)) \\ 0 & \text{при } q_{2l}^{(k)}(t) \leq 0 \vee R_{l-1}^{(k)}(t) \leq \gamma_l \tau_8(q_{1l}^{(k)}(t), q_{2l}^{(k)}(t)) + \\ & + \alpha(q_{1l}^{(k)}(t), q_{2l}^{(k)}(t)) \end{cases};$$

$$R_l^{(k)}(t) = R_{l-1}^{(k)}(t) - v_l^{(k)}(t) [\gamma_l \tau_8(q_{1l}^{(k)}(t), q_{2l}^{(k)}(t)) + \alpha(q_{1l}^{(k)}(t), q_{2l}^{(k)}(t))];$$

$$S_l^{(k)}(t) = S_{l-1}^{(k)}(t) + v_l^{(k)}(t) \gamma_l \tau_8(q_{1l}^{(k)}(t), q_{2l}^{(k)}(t));$$

$$v_{ij}^{(k)}(t) = \mathcal{N}(q_{1l}^{(k)}(t), q_{2l}^{(k)}(t), v_l^{(k)}(t)); \quad (l = \overline{1, L}; i = \overline{1, I_1}; j = \overline{1, J_i});$$

$$w_{oj}^{(k)}(t) = \mathcal{N}(\tilde{0}, q_{2l}^{(k)}(t), v_l^{(k)}(t)); \quad (l = \overline{L+1, L_1}; j = \overline{1, J_o});$$

$$w_{12,j}^{(k)}(t) = \mathcal{N}(\tilde{12}, q_{2l}^{(k)}(t), v_l^{(k)}(t)); \quad (l = \overline{L_1+1, L_2}; j = \overline{1, J_{12}}).$$

Символом $\tilde{0}$ обозначена последовательность из $(L_1 - L)$ нулей, а символом $\tilde{12}$ — последовательность длины $(L_2 - L_1)$, каждый шаг которой равен 12.

Остановимся на таких важных характеристиках автоматной модели, как система распределений случайных величин (СРСВ) и вектор начальных состояний (ВНС). Параметры распределений случайных величин $\xi_{12j}^{(k)}$ ($k = \overline{1, K}; j = \overline{1, J_{12}}$) и $\eta_2^{(k)}$ принадлежат к относительно устойчивой информации, вычисляемой для каждой жилищной единицы отдельно, а параметры всех остальных случайных величин включаются в абсолютно постоянную информацию. Начальные состояния автоматов $D_n^{(k)}, F_n^{(k)}, G_n^{(k)}, H_n^{(k)}$ принимаются равными нулю, автомата X — единице. Величина t является счетчиком автоматного времени и представляет собой автомат с нулевым начальным состоянием. Процесс моделируется до момента достижения счетчиком заданного значения T . Величины $a_{ij}^{(k)}(0), b^{(k)}(0), \bar{b}^{(k)}(0), c^{(k)}(0), \bar{c}^{(k)}(0), c^{(k)}(0)$ должны соответствовать реально существующим особенностям формирования бюджета времени населения в рассматриваемом регионе.

Принцип построения автоматов модели рассмотрим на примере автомата $A_{ij}^{(k)}$, означающего "возраст" потребности в обслуживании на (i, j) для представителя k -й группы населения. Очевидно, что возраст потребности (i, j) в момент времени $(t+1)$ будет совпадать реализацией случайной величины $\xi_{ij}^{(k)}$ (появление или непоявление потребности) в случае, когда выполняется одно из следующих условий: а) возраст потребности в момент t был равен нулю, т.е. потребность не существовала и $\min \{1, a_{ij}^{(k)}(t)\} = 0$; б) потребность существовала в момент времени t , т.е. $\min \{1, a_{ij}^{(k)}(t)\} = 1$ и была возможность удовлетворить, т.е. $w_{ij}^{(k)}(t) = 1$. Нетрудно видеть, что первое слабое в выражении для $a_{ij}^{(k)}(t+1)$ при условии а) или б) равно 1 , а второе — нулю. В случае, если потребность существовала в момент времени t и не было возможности ее удовлетворения, т.е. $v_l^{(k)}(t) = 0, a_{ij}^{(k)}(t) \geq 1$, возраст потребности должен увеличиться

на единицу. Это условие обеспечивается вторым слагаемым в выражении для $a_{ij}^{(k)}(t+1)$. Действительно, в таком случае $(1 - w_{ij}^{(k)}(t) \min\{1, a_{ij}^{(k)}(t)\}) = 1$, следовательно, первое слагаемое равно нулю, а второе будет равно $a_{ij}^{(k)}(t) + 1$.

Аналогичные соображения положены в основу построения всех остальных автоматов модели, в чем легко убедиться, вникнув в смысл обозначений и рассмотрев все возможные случаи зависимости между составляющими каждое уравнение автоматами.

Моделирование процесса распределения времени происходит в несколько этапов. Вначале определяется величина неотложно необходимого времени $u_3^{(k)}(t)$. Оставшееся время последовательно распределяется вначале для потребностей, относящихся к текущему необходимому времени, затем к относительно необходимому и, наконец, к организованному свободному времени. Соответственно этой последовательности строится и работа оператора M , упорядочивающего потребности с учетом их возраста по всем этим группам потребностей. На каждом шаге рекуррентного алгоритма распределения времени оценивается возможность удовлетворения каждой потребности с учетом имеющегося резерва времени $R_{l-1}^{(k)}(t)$, необходимого времени обслуживания $\alpha(i, j)$ и связанного с ним транспортного времени $\tau_8^{(k)}(i, j)$. Если потребность может быть удовлетворена, то полагаем $v_l^{(k)}(t) = 1$ и уменьшаем значение резерва времени на величину ее времени обслуживания и транспортного времени, а общий расход транспортного времени $\theta^{(k)}(t)$ увеличиваем на соответствующую величину транспортного времени, требующегося для удовлетворения потребности. В случае невозможности удовлетворения потребности полагаем $v_l^{(k)}(t) = 0$.

Для многих исследований представляет интерес моделирование так называемого потенциального бюджета времени населения. Рассмотрим особенности моделирования потенциального бюджета времени на примере конкретной задачи оптимизации развития транспортного обслуживания городского населения [25].

В многоцелевой специализированной имитационной системе ВОКОН осуществляется моделирование бюджета времени населения при предположении, что ряд потребностей в обслуживании, которые не могут быть удовлетворены из-за недостатка времени, откладываются и приобретают "возраст" (этот возраст исчисляется в сутках). В процессе моделирования специальный оператор ранжирует потребности с учетом их приоритетности и возраста. Затем результаты работы этого оператора используются для распределения времени на удовлетворение существующих потребностей. Таким образом моделируется реальный бюджет времени населения для исследуемой (существующей или проектируемой) системы транспортного обслуживания и исследуемой структуры самого города. Величины затрат транспортного времени

населения, полученные в результате моделирования, являются основой оценки вариантов развития сети транспортного обслуживания населения города.

При принятии решений о развитии сети транспортного обслуживания населения на перспективный период значительный интерес представляют проблемы оптимизации транспортного обслуживания населения. Одним из подходов к исследованию проблем оптимизации транспортного обслуживания населения является получение данных о временных затратах на транспортное обслуживание населения при условии полного удовлетворения всех возникающих потребностей в обслуживании, т.е. моделирование бюджета времени населения для случая, когда потребности удовлетворяются без откладывания. Такой бюджет времени можно назвать "потенциальным" или "идеализированным". Для моделирования "потенциального" бюджета времени необходимо несколько видоизменить имитационную модель, составляющую основу МСИС ВОКОН.

При моделировании статей "потенциального" бюджета времени выделим следующие показатели:

KPV — средневзвешенное количество имеющихся ежедневно потребностей с возрастом, большим или равным единице;

KVP — средневзвешенное количество ежедневно возникающих потребностей;

KUP — средневзвешенное количество ежедневно удовлетворяющихся потребностей;

PTV — средневзвешенное потенциальное транспортное время, требующееся для удовлетворения ежедневно возникающих потребностей;

PVO — средневзвешенное потенциальное время обслуживания, требующееся для удовлетворения ежедневно возникающих потребностей (не считая транспортного времени).

Соотношения для определения этих показателей, относящихся к текущему необходимому времени, будут иметь следующий вид:

$$KPV = \frac{\sum_{k=1}^K \sum_{t=0}^T \sum_{i=1}^{11} \sum_{j=1}^{J_i} N_k \min\{1, a_{ij}^{(k)}(t)\}}{T \sum_{k=1}^K N_k}; \quad (1)$$

$$KVP = \frac{\sum_{k=1}^K \sum_{t=0}^T \sum_{i=1}^{11} \sum_{j=1}^{J_i} N_k \xi_{ij}^{(k)}(t)}{T \sum_{k=1}^K N_k}; \quad (2)$$

$$KUP = \frac{\sum_{k=1}^K \sum_{t=0}^T \sum_{i=1}^{11} \sum_{j=1}^{J_i} N_k w_{ij}^{(k)}(t)}{T \sum_{k=1}^K N_k}; \quad (3)$$

$$PTV = \frac{\sum_{k=1}^K \sum_{t=0}^T \sum_{i=1}^{11} \sum_{j=1}^{J_i} N_k \tau_8^{(k)}(i, j) \gamma_l^{(k)}(i, j) \bar{q}_{ij}^{(k)}(t)}{T \sum_{k=1}^K N_k}. \quad (4)$$

В соотношении (4) величина $\bar{q}_{ij}^{(k)}(i, j)$ представляет собой номер в нижней потребности типа (i, j) в последовательности $\{q_{11}^{(k)}(t), q_{21}^{(k)}(t)\}$ упорядоченной в порядке убывания приоритетности видов обслуживания. Эта процедура упорядочения выполняется специальным оператором η , т.е. $\{q_{11}^{(k)}(t), q_{21}^{(k)}(t)\} = \eta(\xi_{ij}^{(k)}(t))$.

$$PVO = \frac{\sum_{k=1}^K \sum_{t=0}^T \sum_{i=1}^{11} \sum_{j=1}^{J_i} N_k \alpha(i, j) \xi_{ij}^{(k)}(t)}{T \sum_{k=1}^K N_k}. \quad (5)$$

На основе формул (1–5) можно построить соотношения, относящиеся к организованному свободному времени и неотложному неорганизованному времени.

В некоторых случаях целесообразно исследовать не агрегированные средневзвешенные показатели (1–5), а показатели аналогичного типа, конкретизированные по видам (и даже подвидам) обслуживания. Такой анализ особенно эффективен при решении вопросов комплексного развития города, включая и систему транспортного обслуживания. Рассмотрим вычисление конкретизированного показателя на примере средневзвешенного транспортного времени $PTV^{(k)}(i, j)$ обслуживания типа (i, j) для представителя k -й группы населения:

$$PTV^{(k)}(i, j) = \frac{\sum_{t=1}^T \xi_{ij}^{(k)}(t) \tau_8^{(k)}(i, j) \gamma_l^{(k)}(i, j)}{T}. \quad (6)$$

При сравнении различных вариантов развития системы транспортного обслуживания населения города можно воспользоваться оценками общего времени на транспортное передвижение, затрачиваемого населением региона при реализации этих вариантов. Более эффективным варианту будет соответствовать меньшее значение времени на передвижение.

Применение МСИС ВОКОН в задачах оптимизации транспортного

обслуживания населения города позволяет получать оценки эффективности различных вариантов развития системы транспортного обслуживания населения города (в том числе при условии комплексного развития самого города) на основе моделирования бюджетов времени населения.

Информационное обеспечение МСИС ВОКОН включает в себя два типа информации: постоянную информацию и условно-постоянную информацию.

В состав постоянной информации входят 7 файлов: информация, содержащаяся в 6 файлах, охватывает важнейшие отрасли городского хозяйства и сферу социального обслуживания городского населения — торговлю и общественное питание, здравоохранение, просвещение, коммунально-бытовое обслуживание, жилищные условия, общественный транспорт и пр.; седьмой файл содержит вспомогательную постоянную информацию, используемую непосредственно в процессе функционирования имитационной модели. В информационной базе содержатся данные о соответствующих учреждениях обслуживания: виды предоставляемых услуг, интервал движения (для транспорта); пространственные характеристики (координаты места нахождения — (X, Y) ; код района) и другие характеристики обслуживающей и производственной способности. Получение абсолютно-постоянной информации не составляет особого труда: координаты учреждений обслуживания определяются по карте города, а их характеристики (виды предоставляемых услуг и др.) могут быть получены в соответствующих городских (районных) управлениях (торговли, медицинского обслуживания и т.д.).

Файл *MAG* состоит из 12 массивов и содержит характеристики учреждений торговли, общественного питания, коммунально-бытового обслуживания, здравоохранения, просвещения, связи, административного обслуживания, учреждений культуры и спорта и т.д. Файл *NAJU* (население и жилищные условия) описывает жилые здания (либо укрупненные жилищные единицы) с указанием численности населения по группам и характеристик благоустройства и комфортности (этажность, обеспеченность коммунальными удобствами, лифтом, телефоном и др.). Структура и характеристики городского транспорта (с указанием координат остановок) даются в файлах *TRVG* (транспорт внутригородской) и *TRVR* (транспорт внутрирегиональный).

Файл *SR* (смежные районы) состоит из небольших массивов, в каждом из которых число строк равно количеству видов услуг, предоставляемых учреждениями соответствующего типа, а число реквизитов соответствует количеству районов города. Седьмой файл *API* (абсолютно-постоянная информация) содержит информацию о вероятностях появления потребностей в обслуживании по всем рассматриваемым видам услуг для каждой из групп населения, а также информацию о длительностях обслуживания.

В процессе функционирования имитационной модели с целью расчета бюджета времени населения для заданной жилищной единицы используется информация, непосредственно характеризующая положение этой жилищной единицы относительно транспортной сети, сетей предприятий обслуживания и пр. Такая информация относится к условно-постоянной информации, а ее формирование осуществляется с помощью специальных алгоритмов (и соответствующей подпрограммы, называемой подпрограммой актуализации данных), отбирающей и преобразующей постоянную информацию к виду, пригодному для использования в процессе функционирования имитационной модели. Для записи условно-постоянной информации создается специальный файл (файл *UPI*). Для записи файлов и библиотеки программ используется пакет дисков. Файлы организованы как записеориентированные, с прямым способом доступа, что позволяет легко обновлять, дополнять файлы и организовывать рациональную эксплуатацию информационно-формационной базы [26].

Программное обеспечение МСИС ВОКОН реализовано на языке *PL* в ОС ЕС. Основу программного обеспечения составляют 4 подпрограммы: подпрограмма подготовки данных; подпрограмма актуализации данных; подпрограмма функционирования имитационной модели; подпрограмма восстановления информационных файлов. Управление работой подпрограмм — вводом параметров, активизацией, завершением — осуществляет специальная управляющая программа. Программное обеспечение МСИС ВОКОН построено по принципу модульности, т.е. оно состоит из модулей-подпрограмм, которые могут независимо друг от друга программироваться, транслироваться, отлаживаться (проверяться и исправляться). Все модули-программы системы выполняют четко определенные функции и имеют лишь одну точку входа. Разбиение программного обеспечения на 4 конкретных модуля и одноуправляющую программу непосредственно связано со спецификой функций МСИС ВОКОН. Такое разбиение позволило существенно упростить разработку программного обеспечения на различных этапах.

Строение программного обеспечения МСИС ВОКОН имеет строгую выраженную иерархическую структуру (при иерархическом строении программного обеспечения состоит из модулей, связи между которыми носят иерархический характер: каждый модуль может обращаться только к тем модулям, которые ему непосредственно подчиняются, отличающуюся простотой логических связей, к которой рекомендуется стремиться при разработке программ [27].

Кратко остановимся на функциях и особенностях работы отдельных подпрограмм. Назначение подпрограммы подготовки данных — дополнение, обновление и вывод на печать информационных файлов. Цель работы подпрограммы актуализации данных — формирование условно-постоянной информации и запись ее в файл *UPI*. Из управляющей программы подпрограмме актуализации данных передается пар-

метр, означающий количество жилищных (территориальных) единиц, для которых должна быть выполнена актуализация данных. Каждая жилищная единица характеризуется следующей вводимой информацией: буквенным кодом района города, которому она принадлежит; цифровым кодом этого района; номером записи, соответствующим рассматриваемой жилищной единице в файле *NAJU*.

Рассмотрим элементарный цикл алгоритма актуализации данных для заданной жилищной единицы. Актуализация данных начинается с чтения соответствующей заданной жилищной единицы записи файла *NAJU* и вычисления вектора времени, идущего на удовлетворение потребностей в домашнем обслуживании при заданном уровне обеспеченности рассматриваемой жилищной единицы различными видами коммунальных удобств. Запоминаются также некоторые другие характеристики данной жилищной единицы из файла *NAJU* (численность населения по жилищной единице — общая и по группам; средняя этажность; степень обеспеченности жилищной единицы лифтами и пр.). Далее осуществляется актуализация (и запоминание данных) по файлу *TRVG*, заключающаяся в нахождении оптимального времени достижения из данного района города (в котором находится рассматриваемая жилищная единица) всех остальных районов города, вычисление среднего времени следования на работу и с работы, а также вычисление параметра случайной величины транспортного времени, связанного с удовлетворением потребности в срочном обслуживании.

Актуализация по файлу *TRVR* заключается в отыскании ближайшей заданной жилищной единице остановки внутрирегионального транспорта и запоминании соответствующего ей интервала движения транспорта. При актуализации данных по файлу *MAG* находим минимальное время, затрачиваемое на передвижение (пешеходное или транспортное) для удовлетворения потребности в каждом из рассматриваемых файле услуг. В случае отсутствия в районе, к которому относится жилищная единица, какого-либо из видов услуг обращаемся к файлу *SR* и актуализированной информации из файла *TRVG*. Вычисляется также вектор вероятности появления потребности в обслуживании по отрасли "Культура и спорт" для всех групп населения, зависящий от местоположения рассматриваемой жилищной единицы (при вычислении вектора используется актуализированная информация из файлов *MAG*, *TRVG* и *SR*). После вычисления и запоминания актуализированной информации для рассматриваемой жилищной единицы записывается в файл *UPI*. Элементарные циклы повторяются до исчерпания списка жилищных единиц, для которых должна быть выполнена актуализация данных.

Подпрограмма функционирования имитационной модели предназначена для вычисления бюджета времени населения по заданному списку жилищных единиц. Подпрограмма функционирования имитационной модели представляет собой процедуру с двумя параметрами, пере-

даваемыми в эту процедуру управляющей программой. Первый параметр означает количество жилищных единиц (KJE), для которых производится расчет бюджета времени населения. Второй параметр задает время моделирования в сутках (T).

Процесс функционирования имитационной модели заключается в следующем: для каждой из 6 групп населения заданной жилищной единицы в цикле от 1 до T вычисляется бюджет времени населения согласно выделенным статьям расхода времени. Генерация псевдослучайных чисел, равномерно распределенных на отрезке (0, 1), необходима для формализации влияния случайных факторов, учтенных в имитационной модели, осуществляется методом Коробова [18, с. 22–28]. После активизации подпрограммы считывается информация из файла *API* (записанного на диск), необходимая в процессе функционирования модели. При переходе к каждой следующей жилищной единице считывается с диска также актуализированная информация из файла *UPI*, относящаяся к рассматриваемой жилищной единице. После окончания расчета бюджета времени по каждой жилищной единице осуществляется проверка: не исчерпан ли список жилищных единиц, заданный параметром KJE . Если он не исчерпан, то переходим к последней стадии расчета, заключающейся в усреднении и выводе на печать бюджета времени населения по заданным группам номеров жилищных единиц. К примеру, для списка из десяти жилищных единиц можно задать вывод бюджета времени населения по каждой из 10 жилищных единиц в отдельности (группа вывода будет состоять из одной единицы), затем, усредненный бюджет времени для первых трех единиц (группа вывода состоит из трех единиц), усредненный по всем десяти жилищным единицам (группа вывода состоит из 10 единиц) и т.п.

Результаты моделирования бюджета времени населения МСИС ВОКОН выдаются на печать в виде таблицы (табл. 1), в которой приведены значения выделенных статей расхода времени по всем заданным группам жилищных единиц.

Таблица 1. Результаты моделирования (час.)

№ п/п	Наименование территории, единицы	Относительное свободное время	Относительное необходимое время	Организованное свободное время	Самостоятельное свободное время	Доля организованного свободного времени	Необходимое время	Текущее необходимое время	Неотложное необходимое время
-------	----------------------------------	-------------------------------	---------------------------------	--------------------------------	---------------------------------	---	-------------------	---------------------------	------------------------------

Подпрограмма восстановления информационных массивов предназначена для удаления из массивов временно вводимых записей и вос-

создания плотной структуры записей внутри файлов, не содержащей пустых мест.

В записях файлов *MAG*, *NAJU*, *TRVR*, *TRVG* предусмотрена специальная графа, которая называется маской (M) и служит для идентификации каждой записи. Маска может принимать три значения в зависимости от характера записи: 0, 1 или 2. Записи со значением маски 2 являются временно введенными в файл для того или иного конкретного расчета (к примеру, записи вариантов предполагаемых проектных решений размещения предприятий обслуживания). Записи с маской 1 при проведении актуализации данных пропускаются. Записи с маской 0 являются постоянными и описывают реально существующую инфраструктуру. После проведения конкретного расчета бюджета времени необходимо провести восстановление файлов, суть которого состоит в следующем: из файла удаляются записи с маской 2; в записях с маской 1 изменяем значение маски на 0; осуществляется перезапись файла с целью воссоздания плотной структуры записей внутри файла.

Для удобства пользователя МСИС ВОКОН оснащена специальным входным языком. Для решения конкретной задачи с помощью МСИС ВОКОН формируется список заданий. Каждое задание связано с выполнением определенной подпрограммы МСИС ВОКОН. Разработанная для системы структура программного обеспечения, предполагающая автономность работы всех подпрограмм, предоставляет пользователю возможность реализовывать разнообразнейшие списки заданий. Для описания списка заданий предлагается специальный входной язык МСИС ВОКОН, позволяющий в достаточно простой и удобной форме описывать любую задачу, решение которой должна осуществить МСИС ВОКОН. В основе языка лежат следующие ключевые понятия: "список заданий", "задание", "содержание задания". Рассмотрим пример списка заданий, описанного на входном языке МСИС ВОКОН. В список заданий включим выполнение 4-х заданий: ПОДГОТОВКА, АКТУАЛИЗАЦИЯ, СЧЕТ, ВОССТАНОВЛЕНИЕ. Содержанием задания ПОДГОТОВКА может быть, к примеру, выполнение операций ОБНОВЛЕНИЕ и ДОПОЛНЕНИЕ (подзадания ОБНОВЛЕНИЕ и ДОПОЛНЕНИЕ) с указанием списков файлов, для которых необходимо эти операции выполнить. Содержанием задания АКТУАЛИЗАЦИЯ может быть выполнение актуализации данных для 2-х жилищных единиц, расположенных в конкретном (например, Московском) районе города. Задание СЧЕТ может подразумевать вычисление бюджета времени (к примеру, для времени моделирования $T = 100$) для этих двух жилищных единиц и вывод на печать бюджета времени населения для 1-й жилищной единицы, для 2-й жилищной единицы и усредненного бюджета времени по 1-й и 2-й жилищным единицам. Задание ВОССТАНОВЛЕНИЕ содержит список файлов, которые подлежат восстановлению.

Необходимо отметить, что задания, подзадания, списки файлов

(относящиеся к подзаданиям ПОДГОТОВКА и ВОССТАНОВЛЕНИЕ) могут следовать в совершенно произвольном порядке (подзадания и файлы — в порядке, определяемом самим пользователем; задания в порядке, определяемом логикой и целями задачи, решаемой с помощью МСИС ВОКОН). Список заданий может состоять из любого количества заданий (может, к примеру, состоять из одного задания, а также может состоять из списка, содержащего ряд повторяющихся заданий). Коды заданий (ПОДГОТОВКА, СЧЕТ и др.), коды подзаданий (ОБНОВЛЕНИЕ, ДОПОЛНЕНИЕ), имена файлов, признаки очисления заданий, подзаданий и пр., набитые на отдельные перфокарты являются, по существу, стандартными фразами языка, из которых можно формировать самые разнообразные списки заданий без особого труда (это особенно удобно при работе с системой в пакетном режиме). Таким образом, входной язык МСИС ВОКОН является достаточно простым и удобным для пользователя.

МСИС ВОКОН нашла свое применение для оптимизации размещения предприятий обслуживания и развития транспортной сети районов г.Киева. Анализировались несколько вариантов размещения и развития транспортной сети и были выбраны лучшие на основании полученных значений свободного времени населения для каждого варианта.

3. ДЕМОГРАФИЧЕСКОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ

Другая многоцелевая специализированная имитационная система ("МСИС ДЕПРОГ") предназначена для уточненного прогноза численности и структуры населения по любым половозрастным интервалам и брачности на любой период времени. В отличие от существующих моделей демографического прогнозирования МСИС ДЕПРОГ ориентирована на задачи прогнозирования для небольших регионов (город, городской район, микрорайон, квартал и пр.), что потребовало детальнейшего отражения в модели процесса демографического развития. Метод автоматного моделирования позволяет с достаточной точностью описать динамику изменения численности населения по половозрастным группам с учетом брачности, естественного и механического прироста, а также других важных факторов демографического развития.

Детальная информация о демографическом развитии, во-первых, является базовой для многих моделей социальных процессов (таких модели, вероятно, должны опираться на данные о социальной структуре, а прогнозирование численности социальных групп невозможно без демографического прогноза), а во-вторых, МСИС ДЕПРОГ может быть модифицирована для моделирования динамики трудовых ресурсов, прогнозирования структуры семей и т.п.

За единицу автоматного времени в модели принят 1 год, т.е. при переходе к каждому следующему году возраст индивидов увеличивается на 1 год. Существенной особенностью модели является одновременный комплексный учет брачности по всем половозрастным группам. Возраст как женщины, так и мужчины в модели изменяется от 0 до 100 лет, а предельное значение разности возрастов супругов полагается равным 30 годам. Возраст супругов в брачной паре равен не менее 16 годам.

Рождаемость в модели зависит от возраста женщины (рождаемость рассматривается для женщин, находящихся в фертильном возрасте — от 16 до 50 лет) и рассматривается отдельно для состоящих в браке и не состоящих в браке женщин. При моделировании числа рождений учитывается соотношение мальчиков и девочек. Смертность мужчин и женщин учитывается в отдельности и зависит в модели от возраста. Количество заключаемых и расторгаемых браков в модели отнесено соответственно к числу не состоящих в браке женщин и к числу брачных пар с учетом возраста женщин. В модели действует специализированный алгоритм, моделирующий процесс заключения браков с учетом баланса численности потенциальных женихов и невест. Важное значение отводится в модели учету роли миграции в изменении численности и структуры населения. В модели предполагается возможность раздельного рассмотрения нескольких входящих и исходящих миграционных потоков, каждый из которых характеризуется определенным половозрастным составом и брачностью, и различающихся в зависимости от причин, вызвавших миграцию.

Рассмотрим особенности автоматной модели, остановившись на рассмотрении содержательного смысла основных автоматов и других величин, фигурирующих в модели.

В качестве внутренних состояний автоматов в модели принимаются следующие величины:

$b_{xy}(t)$ — численность брачных пар в рассматриваемом регионе с женщиной в возрасте x и мужчиной в возрасте y на конец года с номером t , т.е. от момента t до момента $(t+1)$, где

$$x = \overline{16, 100}; y = \begin{cases} \overline{16, x+30} & \text{при } x = \overline{16, 46} \\ x-30, x+30 & \text{при } x = \overline{47, 70} \\ x-30, 100 & \text{при } x = \overline{71, 100} \end{cases}; \quad (t = 0, 1, \dots, T)$$

$a_x(t)$ — численность незамужних женщин в регионе в возрасте x на конец t -го года ($x = \overline{0, 100}$);

$c_y(t)$ — численность неженатых мужчин возраста y на конец t -го года в регионе ($y = \overline{0, 100}$);

$g_x(t)$ — фактическое отношение числа браков с женщиной в возрасте x , заключенных за текущий год, к общему числу незамужних женщин в возрасте x ;

$d_x(t), d'_x(t)$ — число рождений в регионе соответственно у замужних и незамужних женщин на конец года t ($x = 16,50$);

$l_x(t), f_y(t)$ — число смертей соответственно женщин возраста x и мужчин возраста y в регионе на конец года t ($x = 0,100; y = 0,100$);

$h_x(t)$ — число браков с женщиной возраста x , расторгнутых в регионе на конец года t ($x = 16,100$);

$m_i(t)$ — текущая годовая мощность входящего миграционного потока с номером i , т.е. общее число мигрантов, прибывших в данный регион в i -м потоке на конец t -го года ($i = 1, I$);

$n_j(t)$ — та же характеристика для j -го исходящего миграционного потока ($j = 1, J$).

Соотношения для вычисления этих автоматов составляют ТУФ модели [28] и здесь рассматриваться не будут.

К случайным величинам в модели отнесены следующие:

$p_x(t)$ — отношение числа рождений у замужних женщин возраста x к общему числу замужних женщин в регионе на конец года ($x = 16,50$);

$p'_x(t)$ — та же характеристика для незамужних женщин ($x = 16,50$);

$q_x(t), q'_y(t)$ — отношение числа смертей соответственно женщин возраста x и мужчин возраста y к общему числу женщин возраста x в регионе и общему числу мужчин возраста y в регионе на конец года ($x = 1,100; y = 1,100$);

$\xi_x(t)$ — отношение числа браков с женщиной возраста x , заключенных на конец года t , к общему числу незамужних женщин этого возраста ($x = 16,100$);

$\eta_x(t)$ — отношение числа браков с женщиной возраста x , расторгнутых на конец года t , к общему числу замужних женщин этого возраста ($x = 16,100$);

$\varsigma_i(t), \nu_j(t)$ — общее число мигрантов соответственно в i -м входящем миграционном потоке и j -м исходящем миграционном потоке за текущий год ($i = 1, I; j = 1, J$).

Информация о функциональной форме распределений и значения соответствующих параметров составляет систему распределений случайных величин (СРСВ).

К постоянной исходной информации модели относятся следующие величины:

u_z, u'_z — доля браков с разностью супружеских возрастов z , соответственно, в общей сумме расторгнутых браков и общей сумме заключенных браков ($z = -30, +30$);

ν_i — доля мощности i -го входящего миграционного потока, приходящегося на лиц, состоящих в браке ($i = 1, I$);

ν_j^* — та же характеристика для j -го исходящего миграционного потока ($j = 1, J$);

ν_{ix} — доля женщин возраста x в брачных парах i -го входящего миграционного потока ($i = 1, I; x = 16,100$);

ν_{jx}^* — та же характеристика для j -го исходящего миграционного потока ($j = 1, J$);

w_{iz} — доля брачных пар с разностью супружеских возрастов z в i -м входящем миграционном потоке ($i = 1, I; z = -30, +30$);

w_{jz}^* — та же характеристика для j -го исходящего миграционного потока ($j = 1, J; z = -30, +30$);

d_{ix}, d_{jx} — доля незамужних женщин возраста x соответственно в i -м входящем и j -м исходящем миграционных потоках ($i = 1, I; j = 1, J; x = 0,100$);

β_{iy}, β_{jy}^* — доля неженатых мужчин возраста y соответственно в i -м входящем и j -м исходящем миграционных потоках ($i = 1, I; j = 1, J; y = 0,100$);

γ — доля девочек среди новорожденных;

δ — доля смертности среди новорожденных девочек в возрасте до 1 года;

δ^* — та же характеристика для новорожденных мальчиков в возрасте до 1 года.

Вектор начальных состояний (ВНС) описывает демографическую структуру рассматриваемого региона на конец года, являющегося базовым для прогноза. Выбор ВНС и СРСВ является весьма сложной проблемой, от решения которой во многом зависит точность получаемого прогноза. Этот выбор осуществляется на основе специального статистического исследования.

Исходная информация модели делится на статическую и динамическую. К статической информации относятся все данные о демографическом состоянии региона на конец базового года. Динамическая информация включает в себя показатели естественного и механического движения населения и изменения семейного положения. Разработаны специальные методики получения исходной информации.

Программное обеспечение МСИС ДЕПРОГ реализовано на языке ПЛ в ОС ЕС. Оперативная память, необходимая для работы с проблемно-ориентированным пакетом прикладных программ МСИС ДЕПРОГ, составляет не менее 330 Кб.

Модель применяется для прогнозирования численности населения по любым половозрастным группам и брачности на любые промежутки времени не менее 1 года. Получаемые при моделировании характеристики рассеивания дают возможность оценить точность прогноза, или, если точность прогноза задана, оценить максимальную длительность прогноза, при которой обеспечиваются необходимые требования точности. Практические расчеты с помощью этой модели показали, что точность прогнозирования, определяемая срединной ошибкой прогноза, не превышает 0,4 % в год [29]. МСИС ДЕПРОГ использована для получения прогнозов численности и половозрастной структуры населения для г.Киев и отдельных его районов.

Получаемые с помощью системы демографические прогнозы яв-

ляются основой разработки планов социально-экономического развития. Они используются при решении различных проблем прогнозирования и управления трудовыми ресурсами, планирования жилищного строительства, развития транспортного обслуживания, коммунального хозяйства, учреждений культуры, сети детских учреждений, школ других видов обслуживания населения.

4. СОЗДАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

Последняя из рассматриваемых в настоящей главе многоцелевых специализированных имитационных систем — МСИС СОНЕТ — ориентирована на решение задач, связанных с планированием размещения жилищного строительства и социально-бытовой инфраструктуры города. Выполнение планов жилищного строительства является, как известно, важным фактором социального развития города, обеспечивающим дальнейший рост благосостояния населения.

Реализация программ жилищного строительства, составленных на базе генеральных планов развития города, — предпосылка создания условий для комплексной застройки городской территории, что предполагает строительство жилых районов (микрорайонов), включающих в себя наряду с жилыми домами также школы, детские сады, поликлиники, здания торгового и культурно-бытового назначения, общегородские сооружения транспорта, головные сооружения водопроводно-канализационного, энергетического и других назначений (т.е. совместно социальную инфраструктуру). Это связано с тем, что строительство объектов социальной инфраструктуры тесно связано с объемами и динамикой жилищного строительства (градостроительные нормативы предприятий обслуживания введены в расчете на 1000 жителей: часть предприятий обслуживающего назначения строится за счет 5 % отчислений от объема централизованных капитальных вложений в жилищное строительство и за счет отчислений от других видов капиталовложений, направляемых в жилищное строительство).

Совершенствование планирования комплексной застройки городской территории должно быть направлено на повышение эффективности капитальных вложений в городское жилищное и связанное с ним коммунальное строительство с одновременным созданием рациональной городской среды, обеспечивающей уменьшение затрат времени населения на транспортное, коммунально-бытовое, торговое и другие виды обслуживания.

Одним из возможных подходов к решению этой проблемы является следующий: на первом этапе составить обоснованные и сбалансированные планы размещения городского жилищного строительства; на втором этапе, используя полученные на первом этапе планы размещения жилищного строительства, определить наиболее рациональные

последовательность строительства предприятий обслуживания, транспортной сети и т.п. При этом критерием рациональности должна быть прогнозируемая степень удовлетворения потребностей населения города (района) той социальной инфраструктурой, которая будет создана в соответствии с рассматриваемыми вариантами планов.

Рассмотрим вначале особенности МСИС СОНЕТ, предназначенной для планирования размещения городского жилищного строительства, а затем связь этой системы с МСИС ВОКОН, обеспечивающей оптимизацию социальных характеристик, связанных с повышением качества обслуживания населения.

Необходимым условием выполнения напряженных планов жилищного строительства является совершенствование системы планирования и управления городским жилищным строительством, направленное на повышение эффективности и рациональное использование средств, выделяемых для жилищного и связанного с ним коммунального строительства. Важным аспектом такого совершенствования становится обеспечение в составляемых планах единства функционирования планово-проектно-строительного конвейера города, позволяющего реализовать при разработке планов согласование функционирования строительных и проектных организаций города в соответствии с планируемыми капиталовложениями в жилищное и коммунальное строительство. Это даст возможность на практике осуществить комплексное непрерывное планирование поточной организации городского жилищного строительства, а следовательно, создать условия для более полной реализации возросших возможностей современного индустриального жилищного строительства и развития социальной инфраструктуры.

Основным звеном планирования, позволяющим реализовать единство функционирования планово-строительно-проектного конвейера города, является планирование размещения городского жилищного строительства в рамках пятилетнего периода. Планирование размещения городского жилищного строительства должно рассматриваться, с одной стороны, как задача выбора вариантов территориального размещения жилищного строительства, в основном решаемая на стадии градостроительного проектирования, а с другой стороны — как задача конкретизации этого размещения по годам планового периода, сводящаяся к разработке адресных программ жилищного строительства, сбалансированных с выделяемыми капитальными вложениями, мощностями строительных организаций и возможностями проектных организаций. На основе планов размещения осуществляется производственная деятельность городского строительного комплекса, следовательно, от сбалансированности и стабильности этих планов зависит эффективность функционирования строительной системы города.

В то же время сбалансированность и стабильность планов размещения, составляемых в соответствии с проектами размещения жилищного строительства, в основе которых лежит генеральный план разви-

тия города, способствует сбалансированному развитию городской системы в целом и созданию рациональной городской среды. Невыполнение же планов размещения оказывает негативное влияние на развитие городской системы, так как приводит к нарушениям взаимодействия различных подсистем городской системы из-за несоответствия характера функционального и территориального размещения различных типов городской застройки проектируемому.

Таким образом, невыполнение проектов и планов размещения приводит к таким серьезным последствиям, как нарушение сбалансированного и эффективного развития городской системы в целом, следствием чего является ухудшение качества городской среды с точки зрения ее удобства для населения, связанное с возникновением различного рода диспропорций между строительством жилья и развитием социальной инфраструктуры, пространственной разобщенностью и разрывностью различных функциональных зон города: жилья, промышленной, культурной и рекреационной.

Существующая система планирования размещения городского жилищного строительства имеет целый ряд недостатков, проявляющихся, прежде всего, в нестабильности составляемых планов, недостаточной степени реализации проектов размещения, неполном освоении и неэффективном использовании капитальных вложений, направляемых в жилищное и коммунальное строительство, диспропорциях между развитием учреждений системы обслуживания и строительством жилья. Эти недостатки более всего проявляются в крупных и крупнейших городах, где вводятся большие объемы жилищного строительства, а сам процесс планирования размещения усложняется.

Нестабильность и несбалансированность планов размещения жилищного строительства приводит к снижению эффективности капитальных вложений в жилищное и связанное с ним коммунальное строительство по следующим причинам: необходимость дополнительных расходов на доработку проектно-сметной документации; замораживание капиталовложений на проектно-сметные работы; распыление и замораживание средств на коммунальное строительство и инженерную подготовку и т.д. Нестабильность планов размещения вызвана, прежде всего, недостаточно полным учетом в них основных факторов, оказывающих влияние на характер и реализацию размещения жилищного строительства из-за отсутствия соответствующих процедур и методов планирования, приводящего к несбалансированности планов по важнейшим показателям. Актуальной проблемой в связи с этим является разработка эффективных инструментов планирования размещения городского жилищного строительства на основе применения математического моделирования и ЭВМ, использующих реально существующую информацию о планируемом процессе.

Критерий эффективности системы планирования размещения городского жилищного строительства должен быть непосредственно

связан со стабильностью, обоснованностью и сбалансированностью планов размещения жилищного строительства, обеспечивающих единство функционирования всех звеньев планово-строительно-проектного конвейера города. Таким образом, главная цель, которую должна выполнять система формирования планов размещения, — повысить реализуемость планов, результатом чего станет значительное повышение эффективности капитальных вложений в жилищное и коммунальное строительство города.

Основным резервом и условием повышения эффективности капитальных вложений является своевременная организационно-технологическая подготовка жилищного строительства, позволяющая в конечном итоге дать экономию денежных средств и ресурсов за счет обеспечения эффективной работы строительных и проектных организаций города. Эффективность планирования размещения непосредственно зависит от степени и характера реализации основных концепций, заложенных в проекты размещения городского жилищного строительства. Такое планирование должно в максимальной степени реализовать эффективные градостроительные решения с учетом существующих ограничений в динамике на мощности строительных и проектных организаций города и выделяемые капитальные вложения.

Невыполнение проектов размещения, недостаточное обеспечение преемственности проектов и планов из-за отсутствия подходящих инструментов планирования размещения приводит не только к нерациональному использованию капитальных вложений в городское жилищное и коммунальное строительство, но также негативно сказывается на развитии городской системы в целом из-за большого влияния характера функционального и территориального размещения различных типов городской застройки на формирование важнейших показателей социального развития городской системы.

Это может быть проиллюстрировано на примере Киева: невыполнение проектов размещения привело к такому явлению, как нерациональный трудовой баланс между левобережной и правобережной частями города [30]. Следствием стал целый ряд негативных последствий, в частности, потребовались дополнительные, ранее не планировавшиеся, затраты на развитие пассажирского транспортного сообщения между этими удаленными частями города.

Таким образом, во-первых, реализация проектов размещения является важным фактором сбалансированного и эффективного развития городской системы в целом. Во-вторых, наличие стабильного и обоснованного плана размещения городского жилищного строительства в рамках пятилетнего периода самым непосредственным образом связано с эффективностью капитальных вложений в городское жилищное и коммунальное строительство [31].

Возникает естественный вопрос, что понимать под реализуемостью планов размещения и в чем она выражается. В данном случае реали-

зуюмость планов размещения городского жилищного строительства тесно связана с обеспечением города необходимыми адресами строительства жилого фонда на пятилетний период, что подразумевает прежде всего, наличие обоснованных сроков сдачи подготовленных территорий под застройку, обеспеченность проектно-сметной документацией объектов жилищного и коммунального строительства и т. д. Сроки сдачи подготовленных территорий под застройку должны удовлетворять требованию равномерного ввода жилой площади по кварталам года, являющегося важным условием эффективного функционирования строительного комплекса города, реализации возможности индустриального домостроения, и повышения качества строительных работ.

Составляемые планы размещения жилищного строительства в рамках пятилетнего периода будут различаться по степени детализации: на ближайший период времени составляется подробный план размещения (адресные программы жилищного строительства); на более отдаленный период — укрупненные планы размещения, что связано как с степенью разработки проектных документов, так и с рядом других факторов.

Анализ взаимодействия основных факторов планирования размещения городского жилищного строительства, деятельности основных звеньев планово-проектно-строительного конвейера в процессе составления планов размещения и опыта реализации этих планов позволит осуществить структуризацию системы формирования планов размещения городского жилищного строительства и выделить в ней несколько взаимосвязанных блоков.

Основу системы формирования планов размещения городского жилищного строительства в рамках пятилетнего периода составляют пять блоков: 1) блок формирования адресной программы жилищного строительства; 2) блок определения набора перспективных площадок для размещения жилищного строительства; 3) блок формирования предварительных сроков сдачи территорий (площадок) под строительство; 4) блок имитационного моделирования процесса подготовки городских территорий для размещения жилищного строительства; 5) блок равномерного распределения ввода жилья по кварталам города согласно составленному плану размещения.

Цель работы блока 1 — составление адресной программы жилищного строительства на каждый год планового периода с учетом утвержденной структуры жилищного строительства по Главстрою, плана жилищного строительства для всех заказчиков и требований генерального плана развития города. В качестве потенциальных адресов жилищного строительства в первую очередь рассматриваются запроектованные дома на тех площадках, где к моменту составления адресной программы уже начаты строительно-монтажные работы. Затем устанавливается соответствие между структурой жилищного строитель-

ства на этих площадках и структурой, подлежащей распределению в данном году. Если соответствие достигнуто, то адресная программа составлена, если нет, то выдается частично составленная адресная программа и определяются нераспределенная структура и объемы жилищного строительства. Во вторую очередь в качестве потенциальных адресов жилищного строительства могут быть рассмотрены площадки, не требующие сложного инженерного обеспечения и на которых уже начаты подготовительные работы. Решение о включении таких площадок должно приниматься специалистами.

Если адресная программа полностью не составлена и после рассмотрения этих площадок, то осуществляется переход к блоку 2. Таким образом, задача переходит в следующую стадию — составление укрупненной адресной программы, по существу представляющей собой перечень площадок для размещения жилищного строительства с указанием объемов вводимого в каждом году жилья, сроков и стоимости осуществления мероприятий по инженерному обеспечению площадок и организации-исполнителя этих мероприятий.

В блоке 2 на основе проекта размещения первоочередного строительства определяется набор перспективных площадок для размещения жилищного строительства. В блоке 3 определяются сроки сдачи перспективных площадок размещения жилищного строительства под застройку.

Основным блоком системы является блок 4, осуществляющий имитационное моделирование процесса подготовки городских территорий к застройке для исследования особенностей этого процесса с целью выбрать наиболее рациональные варианты ведения работ по инженерному обеспечению, удовлетворяющие необходимым срокам сдачи территорий под застройку, определяемым в предыдущем блоке.

В блоке 5 осуществляется анализ сроков сдачи территорий под застройку и структуры жилищного строительства, привязанной к ним (если структура еще не определена, то общей приведенной площади). Если полученный план не обеспечивает условий для равномерного ввода, то необходимо проанализировать его, сформировать другие варианты и условия размещения и перейти к формированию нового плана.

Основным блоком системы является блок имитационного моделирования процесса подготовки территорий к застройке. Результаты работы блока могут быть основанием для изменения некоторых ранее проектировавшихся объемов ввода жилья в перспективных районах строительства, изменения набора перспективных площадок для размещения жилищного строительства, очередности их освоения, выдачи рекомендаций проектным организациям города по очередности и составу проектных документов по размещению жилищного строительства и инженерным мероприятиям. Таким образом, результаты работы блока являются информацией обратной связи, используемой при формировании обоснованных планов размещения, увязывающих дея-

тельность всех звеньев планово-проектно-строительного конвейера города. Этим объясняется главная роль рассматриваемого блока в предлагаемой системе формирования планов размещения городского жилищного строительства.

Разработан новый метод формализации процесса подготовки территорий к застройке, основанной на применении сетей обслуживания неполнодоступных требований, и с помощью автоматного моделирования построены система имитаций сетей обслуживания неполнодоступных требований (см. приложение 1) и комплекс имитационных моделей для исследования временных характеристик осуществления процесса в системе формирования планов размещения городского жилищного строительства.

Предлагаемая имитационная система формирования планов размещения городского жилищного строительства, основой которой является блок имитационного моделирования процесса подготовки городских территорий к застройке, предназначена для использования в качестве инструмента планирования, использующего реально существующую информацию о планируемом процессе. Работа системы, по существу, заключается в исследовании различных вариантов осуществления жилищного строительства путем проведения непрямого эксперимента, т.е. имитации, и использования полученной в результате информации для выработки новых предложений. Система включает в себя формализованные компоненты — это блоки 1–5, важнейшим из которых является блок имитационного моделирования процесса подготовки городских территорий к застройке, и неформализованные компоненты, связанные со сложностью рассматриваемого процесса планирования. Необходимость неформализованных компонент связана с тем, что эффективные решения могут приниматься только с участием специалистов из-за сложности многих аспектов планирования и того обстоятельства, что в процессе планирования "пересекаются" и должны быть согласованы решения, затрагивающие непосредственно и строительство, и проектные организации, а также вопросы планирования капитальных вложений в жилищное и коммунальное строительство.

Основными регулируемыми параметрами процесса планирования решения о степени и величине возможного регулирования которых должны принимать специалисты, являются: набор площадок для размещения жилищного строительства, соответствующая каждой из них структура и общая приведенная площадь жилищного строительства в определенной степени — очередность застройки площадок; лимиты капитальных вложений и их динамика по различным видам инженерной подготовки и инженерного оборудования, а также временные организационные возможности ведения работ по подготовке площадок; ряд других параметров.

Результатом работы системы должен быть набор вариантов реализуемых и сбалансированных планов размещения жилищного строи-

тельства, каждый из которых обеспечивает единство проектирования, строительства и планирования капитальных вложений. Выбор лучшего из них должен делаться специалистами.

Программное обеспечение МСИС СОНЕТ разработано на языке ПЛ в ОС ЕС. МСИС СОНЕТ нашла свое практическое применение при разработке планов размещения жилищного строительства в г. Киев на XII пятилетку.

Стабильные планы размещения городского жилищного строительства в рамках пятилетнего периода являются основой для обеспечения комплексности городской застройки. Для выбора наиболее эффективных вариантов динамики строительства учреждений системы общественного обслуживания можно использовать результаты работы системы формирования планов размещения городского жилищного строительства и данные о запроектированном размещении объектов обслуживания из проектов детальных планировок (ППП) районов застройки как входную информацию для рассмотренной ранее многоцелевой специализированной имитационной системы "Временная оценка качества обслуживания населения" (МСИС ВОКОН).

Для начала необходимо исследовать бюджет времени населения для каждого из районов застройки, который получается при использовании жителями застроенного района уже существующей на момент начала застройки сети транспортного и общественного обслуживания (можно включить в нее также предприятия обслуживания, встроенные в жилые дома, вводимые по плану в рассматриваемом году).

Обозначим n — номер года, предшествовавшего первому году планового периода; $n + i$ — номер года планового периода, где $i = 1, 3$. Пусть $g_{n+i} \in G_{n+i}$ множество застраиваемых по плану в $(n + i)$ -м году районов (площадок). Тогда для каждой g_{n+i} -й площадки моделируется бюджет времени населения (его можно назвать исходным), который в данном случае целесообразно детализировать не просто до рассмотрения семи укрупненных статей расхода времени, а осуществить подробное рассмотрение составных частей статьи "текущее необходимое время". Статья расхода времени "текущее необходимое время" включает в себя время, расходуемое на пользование различными видами услуг (кроме культурно-просветительного и рекреационного обслуживания), и связанное с этим транспортное время.

Выделяют 11 основных подотраслей обслуживания, оказывающих услуги, расход времени на пользование которыми включается в "текущее необходимое время". Это следующие подотрасли обслуживания: торговля продовольственными товарами; торговля промышленными товарами; торговля книгами; общественное питание; рынки; коммунальное обслуживание; учреждения здравоохранения; учреждения просвещения; учреждения связи; административное обслуживание; транспортное межгородское сообщение. Отдельно выделяется также транспортное время, связанное с использованием всеми этими видами

услуг. Анализ детализированных статей расхода времени по этим подотраслям обслуживания может быть использован для определения того, какие предприятия обслуживания необходимо строить в каждом g_{n+i} -м районе в первую очередь.

Затем, на основании данных о капиталовложениях по каждой подотрасли обслуживания на $(n + i)$ -й год, результатов анализа исходных бюджетов времени по каждой g_{n+i} -й площадке и ее ПДП можно сформировать различные варианты застройки совокупности площадок G_{n+i} предприятиями обслуживания (включая и развитие городского транспорта) и планируемого строительства общегородских центров обслуживания. Обозначим сформированные варианты комплексной застройки G_{n+i}^s , где $s = 1, S_{n+i}$; S_{n+i} — количество сформированных вариантов комплексной застройки для $(n + i)$ -го года. Вариант застройки, для которого рассчитывались исходные бюджеты времени, обозначим G_{n+i}^0 . Все варианты комплексной застройки, принадлежащие S_{n+i} , необходимо исследовать с помощью МСИС ВОКОН и выбрать наиболее эффективный по критерию [20]:

$$\min_{s \in S_{n+i}} K(G_{n+i}^0, G_{n+i}^s) = \frac{C(G_{n+i}^0, G_{n+i}^s)}{f(G_{n+i}^s) - f(G_{n+i}^0)},$$

где $K(G_{n+i}^0, G_{n+i}^s)$ представляет собой "цену" затрат на выигрыш единицы свободного времени населения при осуществлении s -го варианта комплексной застройки; $C(G_{n+i}^0, G_{n+i}^s)$ — затраты на осуществление s -го варианта строительства предприятий обслуживания; $f(G_{n+i}^0)$ — средневзвешенное свободное время "исходного" бюджета времени варианта застройки G_{n+i}^0 ; $f(G_{n+i}^s)$ — средневзвешенное свободное время при осуществлении s -го варианта строительства предприятий обслуживания.

Таким образом, использование МСИС СОНЕТ в комплексе с МСИС ВОКОН позволит осуществить оптимизацию процесса комплексной застройки города на основе величины свободного времени населения, соответствующего различным вариантам комплексной застройки.

ГЛАВА II. ТЕОРЕТИКО-ИГРОВОЙ ПОДХОД

1. ПОВЕДЕНИЕ В СЛОЖНЫХ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Взаимодействие между людьми, предприятиями, коллективами при кибернетическом описании принято представлять в виде взаимодействия подсистем некоторой сложной системы или, если это удобнее, в виде взаимодействия нескольких сложных систем. Суммарным результатом такого взаимодействия является наблюдаемое поведение самой сложной системы, а также ее подсистем. Наиболее наглядным примером такого рода является развитие любых социальных систем.

Если рассмотреть любым способом выделенную социальную систему (подсистему более общей системы): семью, социальную группу, предприятие (как коллектив людей, наделенных некоторыми производственными функциями), город, отрасль, регион и т.д., то сразу можно выделить несколько общих для любой из подсистем свойств: 1) наличие нескольких активных участников; 2) наличие у каждого из них своих целей; 3) наличие у них желания реализовать свои цели как внутри рассматриваемой системы, так и при ее помощи во внешней среде; 4) наличие некоторого перечня допустимых для реализации этих целей действий; 5) наличие некоторых правил поведения, допустимых для достижения поставленных целей; 6) наличие некоторых критериев сравнения полученного результата с другими возможными результатами и определения успешности выполнения целей; 7) наличие некоторых процедур обмена информацией; 8) наличие возможности функционирования в условиях частичной или полной неопределенности в информации о поведении других подсистем; 9) наличие возможности оценки в каждый момент состояния системы, как результат взаимодействия входящих в нее подсистем; 10) наличие значительной доли случайных и неопределенных факторов, влияющих на поведение системы; 11) наличие некоторой доли конфронтации и взаимопомощи между элементами системы.

Для описания поведения сложных систем, состоящих из активных элементов, было разработано несколько математических теорий, позволяющих описывать различные стороны функционирования этих систем.

К их числу прежде всего относится классическая теория игр, включая теорию дифференциальных игр, имитационное моделирование (прежде всего автоматное моделирование), теория игр с непротивоположными интересами, теория активных систем. Каждая из них описывает различные стороны поведения сложных систем, а все вместе они могут составить основу для математического описания планирования, прогнозирования и управления поведением сложных социальных систем и, таким образом, позволить использовать вычислительную технику для научного управления социальными процессами.

Отличительной особенностью названных теорий является то, что процессы, протекающие в обществе, они рассматривают не с точки зрения реализации некоторого управляющего системой воздействия, что было характерно в условиях чрезмерной централизации экономической и социальной деятельности и превращало все социальное управление в реализацию технико-экономических расчетов, а с точки зрения координации взаимодействия активных, целенаправленных подсистем.

Особое место здесь занимает математическая теория игр. Во-первых, как самая старая из них и наиболее сложившаяся, а во-вторых, как исследующая теоретические представления о таких фундаментальных понятиях, как разумность поведения, конфликт, создание коалиций, выбор стратегий и т.д. Как отмечается в [1], "взаимодействие между людьми (подобно тому, которое наблюдается, например, в экономической или политической деятельности) обычно включает в себя довольно тонкую смесь конкуренции и кооперации... Подобные ситуации, связанные с взаимодействием людей, анализируемые с рациональной... точки зрения, стали теперь известны под названием игр".

Согласно [2], "игра — это идеализированная математическая модель коллективного поведения: несколько индивидуумов (участников, игроков) влияют на ситуацию (исход игры), причем их интересы (их выигрыши при различных возможных ситуациях) различны. Антагонизм интересов рождает конфликт, в то время как совпадение интересов сводит игру к чистой координации, для осуществления которой единственным разумным поведением является кооперация. В большинстве игр, возникающих из анализа социально-экономических ситуаций, интересы не являются ни строго антагонистическими, ни точно совпадающими... теория игр является полезным логическим аппаратом для анализа мотивов поведения участников в подобных ситуациях. Она располагает целым арсеналом формализованных сценариев поведения, начиная с некооперативного поведения и до кооперативных соглашений с использованием взаимных угроз".

Существуют различные определения предмета теории игр. Наиболее общепринятым в советской литературе, посвященной этому вопросу, является определение, которое дает Н.Н.Воробьев в [3]: "Теория игр есть теория математических моделей принятия оптимальных реше-

ний в условиях конфликтов или неопределенности" и далее поясняет: "... конфликт в принятии решений является, по существу, расщеплением принимающего решения субъекта на несколько самостоятельных действующих сторон, преследующих различные цели", а "... альтернативное упоминание в определении теории игр конфликта и неопределенности не должно пониматься как объединение в теории игр двух различных классов моделей, ... эти два условия принятия решений формально сведены друг к другу, (формально же) поддаются описанию однотипными моделями".

За последнее время все большее место в математике начинают занимать теории, которые обслуживают не столько непосредственное изучение окружающего мира, сбор информации о нем, сколько принятие на основе получаемой информации тех или иных решений. В этой связи центр тяжести перемещается с более пассивного этапа научного исследования, соответствующего задачам классической математики, на его более активный этап — принятие решения относительно тех или иных действий. Примером математической теории подобного типа является теория игр. Специфика задач, объединяемых теорией игр, состоит в том, что принимаемые в них решения складываются из частных решений лиц, имеющих различные цели.

Теория игр является теорией математических моделей таких ситуаций, в которых исход зависит от решений, принимаемых участниками, обладающими различными интересами. Необходимое условие того, чтобы теория игр была именно математической теорией, состоит в принципиальной возможности количественного измерения степени осуществимости интересов каждого из игроков при любом способе выбора всеми игроками своих стратегий. Как правило, считается, что игроки полностью информированы о правилах и условиях игры, т.е. они знают всех участников игры, списки стратегий каждого из игроков и их выигрыши во всех ситуациях, которые в процессе игры могут сложиться. Понятие игры как математической формализации любого мыслимого конфликта между сторонами, способными к принятию решений, является весьма общим. Поэтому принципиальные возможности практических приложений теории игр оказываются весьма широкими [4].

С помощью теории игр можно осуществлять математический анализ экономических и социальных противоречий. Можно анализировать и такие явления, которые могут быть интерпретированы как конфликты. Например, к числу таких явлений относится принятие решений в условиях неопределенности. Как конфликт можно интерпретировать принятие решения, которое следует оптимизировать одновременно по нескольким критериям и нет никаких оснований ни для установления приоритета, ни для приписывания "весов" каждому критерию. Имеются также другие явления, которые можно интерпретировать как конфликты или как обладающие видимостью конфликта.

Среди множества возможных приложений теории игр наиболее перспективными являются приложения в области моделирования социальных процессов. Как отмечается в [2], "во многих социальных науках имеется большое количество моделей, при анализе которых требуется изучать способы выбора стратегий... целые разделы экономической теории (такие, как теория несовершенной конкуренции или теория экономического стимулирования) развиваются в тесном контакте с теорией игр", а "... анализ процедур голосования, направленный на изучение стратегических возможностей, позволил переосмыслить некоторые традиционные направления политической теории." А в работе [5] вопрос ставится даже следующим образом: "...останется ли теория игр просто разделом математики, или она станет частью социологии".

Среди различных социологических приложений теории игр можно остановиться на следующих:

1. Задачи анализа социологической информации: задача проверки информации, полученной с помощью вопросников формулируется в виде матричной игры против природы.
 2. Задачи теоретического анализа управления обществом: исследуются проблемы управления обществом в форме задачи математического программирования и в форме игры, и, таким образом, анализируется функционирование общества и отдельных его институтов при различной степени централизации.
 3. Задачи исследования внутренних и внешних конфликтов, присущих сложным системам.
 4. Задачи исследования таких понятий, как конфликт, оптимальность, справедливость, полезность, антагонистичность, кооперация.
 5. Задачи исследования противоречивых процессов, возникающих при росте городов.
 6. Задачи принятия оптимальных решений в конфликтных ситуациях.
 7. Задачи управления поведением структурных подразделений для максимизации целевой функции коллектива.
 8. Задачи исследования процессов социального выбора.
 9. Задачи исследования процессов группового решения.
 10. Задачи построения системы поощрения и стимулирования.
 11. Задачи исследования и управления поведением индивидуумов в области территориального расселения и трудового поведения.
- Примером теоретико-игрового подхода к моделированию расселения и трудового поведения и управления этим поведением может служить [6]. В ней рассматриваются проблемы обеспечения оптимального распределения рабочей силы по отраслям народного хозяйства и экономическим районам на основе создания материальной заинтересованности работников в перемещении из трудоизбыточных в трудонедостаточные районы. Предлагается систему поясных тарифных коэф-

фициентов, направленную на создание равных условий воспроизводства рабочей силы, дополнить еще одним видом надбавок. Эти надбавки к зарплате и фондам общественного потребления должны строиться с таким расчетом, чтобы рассредоточение трудовых ресурсов по экономическим районам в соответствии с оптимальным планом было бы в то же самое время оптимально и для каждого работника.

Приводится метод построения этих надбавок. Строится игра N лиц в нормальной форме, игроками которой являются рабочие. Стратегии рабочих — выбор места жительства. Функции выигрыша (дополнительные надбавки) строятся так, что множество сильных равновесных ситуаций для игры состоит из ситуаций, соответствующих оптимальному рассредоточению трудовых ресурсов. Утверждается, что совершенствование системы поясных тарифных коэффициентов при оплате труда и реализация предложенной модели должно привести к оптимальному распределению трудовых ресурсов.

При моделировании процессов, происходящих в обществе, наиболее часто используются матричные игры. Имеются также приложения нестратегических игр, коалиционных, бескоалиционных и дифференциальных игр.

Широкое приложение матричных игр объясняется тем, что они наиболее простые с точки зрения очевидности описываемого процесса, хорошо решаются путем сведения к задаче линейного программирования, могут быть интерпретированы как процедура принятия решений в условиях неопределенности.

Рассмотрим одно из приложений матричных игр к проблеме развития инфраструктуры [7] и отметим, что основы теории матричных игр хорошо изложены в [8; 9]. В целом задачи развития производственной и непроизводственной (социальной и бытовой) инфраструктуры во всех своих аспектах хорошо описываются на языке теории игр. Причем в этих задачах может найти применение большинство разделов классической теории игр.

Доводя движение производимой продукции по системе "предприятия-поставщики — органы материально-технического снабжения — предприятия-потребители — ... — торговля — потребители" до населения, органы торговли способствуют завершению усилий по производству и реализации товаров народного потребления и тем самым способствуют, с одной стороны, воспроизводству способности населения к труду, а с другой — повышению стремления к труду для получения за него вознаграждения. От эффективности функционирования торговли зависит в значительной степени повышение стремления и способности к труду, а следовательно, и производительности труда.

Для решения задачи оптимального управления запасами товаров на базах и складах торговых организаций существенное значение имеет наличие на них полезных площадей для хранения товаров и размещение этих баз по областям.

Выбор способа синхронизации или некоторой их комбинации подразумевает решение вопроса — иметь ли склады и где: склады поставщиков, склады потребителей, склады органов материально-технического снабжения, склады торговли.

Для торговли эта задача преобразуется в задачу определения объемов и структуры капиталовложений на развитие системы складов и баз, определения структуры и размеров баз и складов в каждой области с учетом динамики изменения спроса населения на различные виды товаров народного потребления, изменения объемов и ассортимента выпуска этих товаров промышленными предприятиями, развития транспортной сети.

Модель распределения капиталовложений на развитие системы баз и складов позволяет на основании информации о планируемом увеличении товарооборота и изменении его структуры, о перспективах развития предприятий, построить оптимальный план распределения капиталовложений на различные проекты развития, реконструкции, расширения и создания новых баз и складов.

План строится с учетом местоположения складов, предприятий поставщиков и торговых организаций, транспортных затрат, площадей баз и складов, прогноза спроса населения.

Критерием оптимальности может быть минимизация суммарных потерь за весь плановый период от дефицита и перебоев в торговле, вызванных нехваткой складских помещений, потерь от содержания недостаточно эффективно используемых площадей, транспортных расходов.

Реализация этой процедуры планирования позволит повысить эффективность использования капиталовложений, идущих на развитие баз и складов, а также повысить надежность выполнения планов торговли и предотвратить возможные потери, связанные с нехваткой складских помещений, их нерациональной структурой и размещением.

Критерии оптимальности и варианты размещения могут задаваться работниками плановых органов торговли. Потребность в величине капиталовложений в различные проекты развития системы баз и складов, а следовательно, и возможные факторы, влияющие на размещение (такие, как спрос населения на различные виды и объемы товаров в плановом периоде, объемы и ассортимент изделий, выпускаемых промышленностью, возможности хранения, транспортировки и реализации и т.д.), можно получать путем опроса экспертов (например, работников торговли), путем построения прогнозов, путем задания их лицами, ответственными за планирование, или любой комбинацией перечисленных способов.

Затем на основании заданного критерия оптимальности вариантов капиталовложений, потребностей в объемах капиталовложений при различных комбинациях факторов, на них влияющих, различных значениях спроса населения по регионам, объемах выпуска товаров народного потребления промышленностью в каждом регионе и т.д., произ-

водятся расчеты по модели. Полученный оптимальный план распределения капиталовложений на развитие системы баз и складов анализируется плановыми работниками органов торговли и, если он удовлетворяет всем требованиям, то принимается, а если нет, то изменяются варианты капиталовложений или критерии оптимальности, и расчеты продолжаются до получения приемлемого по всем показателям (в том числе, и не формализуемым) плана.

В такой постановке модель распределения капиталовложений на развитие системы баз и складов служит инструментом предплановых расчетов для работников плановых органов торговли. Она позволяет обрабатывать большие объемы информации и находить среди предложенных плановыми работниками вариантов наилучшие. Это позволяет сосредоточить внимание плановых работников на определении критериев оптимальности, анализе факторов, влияющих на размещение баз и складов, и разработке возможных вариантов размещения.

Эффективность системы торговли в последующие плановые периоды зависит от рационального плана распределения капиталовложений на развитие системы баз и складов.

Процедура расчета распределения капиталовложений на развитие системы баз и складов позволяет принимать решения, исходя из необходимости решать следующие основные задачи: развития складского хозяйства для обеспечения надлежащего хранения материальных ценностей и создания условий для более рационального размещения товарных запасов и улучшения системы товароснабжения; более равномерного и экономически оправданного размещения складской сети; наиболее эффективного использования капиталовложений, выделенных на строительство складской сети. Потребность в складах, базах и величинах их мощностей определяется с учетом вышеперечисленных задач.

План разрабатывается на основе следующих принципов: создание преимущественно крупных механизированных прирельсовых складов по наиболее прогрессивным проектам и организация на их основе объединенных складских хозяйств, обеспечивающих централизованную доставку магазинам товаров в нужном ассортименте и количестве; ограничение практики строительства мелких складов; перестройка системы товароснабжения в направлении организации движения основной массы товаров, как правило, через одно складское звено; постепенное сосредоточение относительно большей доли запасов товаров на общетоварных складах (базах); согласование направления развития складского хозяйства с планами строительства и реконструкции городов и сел, развития транспортной сети и предприятий-поставщиков; более рациональное размещение товарных запасов между складами оптовых организаций и предприятиями розничной торговли.

Разработка плана развития системы баз и складов производится по областям на длительный период времени (10–15–20 лет).

На предварительном этапе подготовки данных для расчетов по модели распределения капитальных вложений на развитие системы баз и складов необходимо провести анализ действующего складского фонда и определить размеры имеющихся площадей, которые пригодны для дальнейшего использования; определить общий объем и уровень запасов товаров в торговле, подлежащих хранению на складах и, исходя из этого, — потребности в площади складов; определить предварительные варианты нового складского строительства, исходя из возможной потребности в соответствии с выделенными капиталовложениями.

Анализ состояния складского хозяйства для решения вопроса о возможном использовании складского фонда проводится, исходя из действующей системы товароснабжения, сложившейся звенности движения товаров, распределения запасов важнейших групп товаров между оптовой и розничной торговлей; уровня развития и состояния складского хозяйства, данных о количестве складских помещений, размерах складов, радиусе обслуживания, уровне механизации, состоянии помещений, а также степени удовлетворения имеющимися складами потребности торговли.

На следующем этапе подготовки данных для расчетов по модели распределения капитальных вложений на развитие системы баз и складов производится прогнозирование перечисленных данных по годам планового периода, и строится прогноз состояния спроса населения на товары, реализуемые по всем областям. Кроме того, анализируются возможные изменения объемов выпуска товаров народного потребления и возможные условия транспортировки.

На основании этих данных строятся возможные значения необходимых капиталовложений на развитие, расширение, реконструкцию баз и складов в каждой отрасли, исходя из необходимых площадей для хранения товаров. Так как на длительную перспективу дать точное значение прогнозируемых величин невозможно, а вероятностные характеристики не надежны, то необходимо рассматривать для каждой базы несколько вариантов капиталовложений, исходя из различных значений необходимых площадей для хранения товаров (по крайней мере два варианта: первый — исходя из нижнего значения необходимых капиталовложений, а второй — из верхнего значения). Общий объем капиталовложений при этом не должен быть превышен. Формирование вариантов капиталовложений по всей системе баз и складов как сочетания возможных комбинаций различных вариантов капиталовложений по каждой базе и складу, удовлетворяющих общим ограничениям на объем капиталовложений по всей системе, происходит на основании заданных верхних и нижних значений.

Данная задача распределения капиталовложений на развитие системы баз и складов формализуется в виде матричной игры двух лиц, так как она представляет собой задачу принятия решения в условиях не-

определенности. Неопределенность заключается в том, что на длительную перспективу невозможно определить точные значения потребности в распределении капитальных вложений на развитие системы баз и складов. Стратегиями принятия решений плановыми органами x_i (стратегиями первого игрока) будут все возможные варианты распределения капиталовложений между базами и складами, а стратегиями второго игрока y_j являются все возможные реализации истинного значения необходимых капиталовложений. Множество возможных стратегий плановых органов и состояний истинной потребности в капиталовложениях формируются автоматически. На основании анализа возможных потерь в случае, если планирующие органы выберут i -ю стратегию распределения капиталовложений, а истинное значение необходимых капиталовложений будет отвечать j -му состоянию, автоматически по заданным формулам строится матрица потерь $A = \{a_{ij}\}$, где

$$a_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{если } i = j; \\ \sum_{m \in M_1} b_m (S_{mi} - S_{mj}) - \sum_{m \in M_2} c_m (x_{mi} - x_{mj}), & \text{если } i \neq j \end{cases}$$

M_1 — множество баз и складов для которых $S_{mi} > S'_{mj}$; M_2 — множество баз и складов для которых $S_{mi} < S'_{mj}$;

$$M_1 \subset M; M_2 \subset M$$

M — множество рассматриваемых баз и складов; S_{mi} — величина, на которую увеличивается площадь m -й базы (склада) согласно j -му варианту распределения капиталовложений (i -й стратегии); S'_{mj} — величина, на которую необходимо было увеличить площадь m -й базы (склада) согласно j -му варианту истинных потребностей в капиталовложениях (j -му состоянию "природы"); b_m — потери, вызываемые содержанием единицы неиспользуемой площади складов на m -й базе; c_m — потери, вызываемые нехваткой единицы площади склада на m -й базе.

По строкам откладываются все возможные состояния комбинаций потребностей в капиталовложениях по всей системе баз и складов, а по столбцам — все возможные стратегии плановых органов по распределению капитальных вложений во всей системе баз и складов по каждой базе, исходя из различных значений истинных потребностей в капиталовложениях для нее.

Элемент a_{ij} матрицы потерь $A = \{a_{ij}\}$ означает, что потери от неправильно выбранного варианта распределения капиталовложений x_i в случае, если правильным вариантом распределения был бы y_j , составят a_{ij} рублей.

Планирующему органу в условиях неопределенности необходимо выбрать оптимальную стратегию распределения капитальных вложений на развитие системы баз и складов.

Стратегия является оптимальной, если применение этой стратегии обеспечивает наибольший гарантированный выигрыш (наименьшие гарантированные потери) при всевозможных стратегиях другого игрока (всевозможных истинных потребностях в капиталовложениях). Исходя из этого, плановый орган исследует матрицу своих потерь $A = \{a_{ij}\}$.

Как правило, матричные игры редко имеют седловую точку в чистых стратегиях при моделировании реальных процессов.

В заданном случае необходимо искать решение в смешанных стратегиях. Решение матричной игры распределения капиталовложений ищется при помощи сведения ее к задаче линейного программирования. Предполагается, что цена игры $v > 0$. Это условие не нарушает общности, так как всегда можно подобрать такое число γ , прибавление которого ко всем элементам матрицы выигрышей дает матрицу с положительными элементами и, следовательно, с положительными значениями цены игры. При этом оптимальные смешанные стратегии обоих игроков не изменятся.

В результате решения задачи получаем p_i — вероятности применения в оптимальной смешанной стратегии распределения капиталовложений на развитие системы баз и складов каждой i -й чистой стратегии. В данной модели согласно i -й чистой стратегии необходимо сделать следующие капиталовложения:

$$x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{mi}, \dots, x_{M-1,i}, x_{Mi},$$

где x_{mi} — объем капиталовложений, выделяемый m -й базе согласно i -й чистой стратегии распределения капиталовложений (i -му варианту распределения капиталовложений на развитие системы баз и складов).

$$\sum_{m=1}^M x_{mi} \leq K, (i = \overline{1, n}),$$

где K — общий объем капиталовложений на развитие системы баз и складов, выделяемый на плановый период.

Тогда оптимальным объемом капиталовложений на развитие m -й базы будет:

$$k_m = \sum_{i=1}^n p_i x_{mi}, (m = \overline{1, M}).$$

Следовательно, в результате решения получаем оптимальную структуру распределения капиталовложений на развитие системы баз и складов:

$$k_1, k_2, \dots, k_m, \dots, k_M$$

(где M — общее количество баз и складов), при котором общие потери от неточного знания будущих потребностей в мощностях баз и складов будут минимальными.

Общий объем капиталовложений

$$K_{\text{ОПТ}} = \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^n p_i x_i = \sum_{m=1}^M k_m \leq K.$$

Такое решение гарантирует объединению минимальные потери при перспективном планировании распределения капиталовложений на развитие системы баз и складов при неопределенности значений будущих потребностей в мощностях баз и складов.

Рассмотренная выше модель принятия решений в условиях неопределенности формализуется одновременно в виде матричной игры двух лиц и в виде игры с природой. Это объясняется как структурой моделируемой задачи, так и использованием максиминного критерия. Применение теории игр с природой для принятия решений в условиях неопределенности будет подробно рассмотрено в § 2 данной главы.

Необходимо отметить, что данный подход целесообразно использовать для планирования развития элементов инфраструктуры как производственной, так и непроизводственной — бытовой и социальной, особенно если плановые решения приходится принимать на длительные интервалы планирования.

Этот подход к принятию решений в условиях неопределенности хорошо соответствует специфике принятия решений о развитии непроизводственной (социальной, бытовой) инфраструктуры. Дело в том, что при принятии решений о ее развитии необходимо учитывать ряд факторов, о которых известно только множество возможных значений, которые они могут принимать в момент реализации принятых решений (или динамику изменения значений этих факторов). Неопределенность могут вносить изменения в демографических, экономических, социальных процессах (в частности, изменения в ориентации населения в области потребительского поведения, трудовой ориентации, территориально-поселенческой ориентации и миграционного поведения, создания семьи и репродуктивного поведения, ценности свободного времени и характера его использования). Комбинация этих факторов в момент принятия решения может оказаться плохо поддающейся прогнозированию с заданной точностью и, как следствие, прогнозировать будет перечень возможных потребностей в мероприятиях по развитию инфраструктуры.

Теоретико-игровой подход позволяет выбрать те варианты, которые дают наименьшие возможные потери. Критерием оптимальности будет минимальный гарантированный результат от реализации капиталовложений в развитие социальной инфраструктуры, а элементом матрицы игры — разность истинных и ожидаемых (согласно данному варианту) потребностей. Вместе с тем каждый элемент социальной инфраструктуры будет оцениваться согласно своему функциональному назначению, по конечным (социальным) показателям раз-

вития (свободное время и эффективность его использования, создание максимально гуманистической городской среды и условий работы и т.д.).

Рассмотрим также возможности использования биматричных игр [8; 9] для моделирования стимулирующих воздействий в иерархических системах с учетом неопределенности в поведении элементов этих систем, следуя [10].

Рассмотрим вертикальную иерархическую систему "отрасль — предприятие" при условии, что предприятие может выпускать только один вид продукции. Отрасль располагает m различными стратегиями $j = \overline{1, m}$ стимулирования производства сверхплановой продукции, а предприятие располагает n технологическими способами производства $i = \overline{1, n}$. Применение i -й технологии обеспечивает выпуск продукции объемом x_i и производит затраты $b_i x_i$. Применение j -й стратегии отрасли обеспечивает реализацию продукции на сумму $y_j(x_i)$.

Предприятие стремится к увеличению своего критерия прибыли $y_j(x_i) - b_i x_i$, а отрасль своего $ax_i - y_j(x_i)$, где a — коэффициент, определяющий ценность продукции для отрасли.

Отрасли известно, что ожидаемый объем выпуска продукции сверх плана $x_i \in X$, а $b_i x_i \in B$ и что предприятие может реагировать на различные стратегии стимулирования отрасли выпуском различного объема продукции. К моменту выбора своей стратегии предприятию известно, что $y_j(x_i) \in Y$. Данная ситуация может быть формализована в виде биматричной игры с элементом матрицы выигрыша предприятия $a_{ij} = y_j(x_i) - b_i x_i$ и элементом матрицы выигрыша отрасли $b_{ij} = ax_i - y_j(x_i)$.

Рассмотрим вертикальную иерархическую систему "город — предприятие". Город располагает L различными стратегиями стимулирования, характеризующимися различными суммами $l_k(z_i)$, где z_i — количество сэкономленной предприятием электроэнергии, а предприятие располагает, как и в предыдущем случае, n стратегиями выпуска сверхплановой продукции, причем каждая стратегия выпуска продукции характеризуется и экономией определенного объема электроэнергии и определенными затратами на ее экономию $c_i z_i$ (где c_i — некоторый коэффициент соизмеримости).

Город стремится к увеличению $dz_i - l_k(z_i)$, где d — некоторый коэффициент, определяющий ценность сэкономленной электроэнергии для города. Предприятие стремится увеличить $l_k(z_i) - c_i z_i$. Город знает, что $z_i \in Z$; $c_i z_i \in C$, а предприятие к моменту выбора стратегии знает, что $l_k(z_i) \in S$.

Данная ситуация может быть формализована в виде биматричной игры с элементом матрицы выигрыша предприятия $c_{ik} = l_k(z_i) - c_i z_i$ и с элементом матрицы выигрыша города $d_{ik} = dz_i - l_k(z_i)$.

Если $n = 2$; $m = 2$; $k = 2$, для решения используется алгоритм Н.Н.Воробьева [11]. В случае $n > 2$; $m > 2$; $k > 2$ используется алгоритм Лемке-Хаусона [12].

Когда город стимулирует экономию электроэнергии, а отрасль — выпуск сверхплановой продукции, и для предприятия выпуск сверхплановой продукции в определенном объеме связан с экономией строго определенного объема электроэнергии, предприятие стремится к увеличению: $y_j(x_i) + l_k(z_i) - c_i z_i - b_i x_i$.

Следовательно, необходимо рассмотреть иерархическую систему "город, отрасль — предприятие". Введем фиктивного игрока "город — отрасль". Данная ситуация может быть формализована в виде биматричной игры с элементом матрицы выигрыша предприятия $R_{ij} = y_j(x_i) + l_k(z_i) - c_i z_i - b_i x_i$ и с элементом матрицы выигрыша "город — отрасль": $P_{ij} = ax_i + dz_i - y_j(x_i) - l_k(z_i)$.

Отметим, что если не вводить предположения о том, что для предприятия выпуск сверхплановой продукции в определенном объеме связан с экономией строго определенного объема электроэнергии, то получим для случая $m = 2$, $n = 2$, $k = 2$ биматричную игру 4×4 .

Если регион и отрасль координируют свои стратегии стимулирования, то тогда необходимо рассмотреть треугольную иерархическую систему:



Данную ситуацию можно описать как игрой трех лиц, так и биматричной игрой, рассмотренной выше или биматричной игрой 4×4 , (при $m = 2$, $n = 2$, $k = 2$), но предварительно построив некоторую модель взаимоотношений между городом и отраслью.

Наконец, если координирует вышестоящий орган, то получаем ромбовидную иерархическую систему:



Отметим, что коэффициенты a и d отрасль и город (регион) к началу планового периода могут знать не точно (знать только, что $a \in A$, $d \in D$). Например, если цены подвержены колебаниям. Или, если отрасль не знает точно, смогут ли все предприятия выполнить план и предполагает, что за счет стимулирования выпуска сверхплановой продукции некоторые предприятия перевыполнят план, что позволит в целом по отрасли добиться выполнения плана и т.д. Для города тоже значения коэффициентов d могут быть различными. Для выбора этих коэффициентов можно использовать игры с природой.

Данные модели стимулирования рассмотрены в предположении, что

премиальные фонды I_0 , S_r достаточно велики, так что выполняются ограничения:

$$\sum_{r=1}^R y_r < Y_0$$

и

$$\sum_{p=1}^P l_p < S_r,$$

где y_r — премия r -му предприятию отрасли ($r = \overline{1, R}$); l_p — премия p -му предприятию, находящемуся в данном регионе; $p = (\overline{1, P})$.

Ситуация, когда премиальные фонды используются полностью или почти полностью, более сложная. Для ее описания необходимо использовать игры n лиц. Возможны и другие обобщения и усложнения моделей.

2. ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Теория игр используется не только для описания поведения сложных систем в условиях столкновения интересов, необходимости координации своего поведения, выбора оптимальных способов поведения в конфликтных ситуациях, но и для принятия решений в условиях неопределенности. Для этого существует раздел теории игр — игры с природой. В таких играх одним игроком является лицо, принимающее решение, а другим — "природа", представляющая собой некоторую совокупность факторов, влияющих на реализацию принятого решения и определяющая ситуацию, от которой зависит выигрыш принимающего решение лица.

Большинство задач принятия решений, в особенности в социальной области, можно описать, по крайней мере на стадии исследования, в виде игр с природой. А многие из них и практически реализовать можно только на основе теоретико-игрового моделирования. Задачи принятия решений в условиях неопределенности также необходимо отнести к задачам моделирования поведения сложных систем. Хотя в них в явном виде моделируется поведение только лица, принимающего решение, но состояния (стратегии) "природы" также являются суммарным результатом поведения других систем, и именно неоднозначностью суммарного результата их поведения (спрос на рынке, качество работы, состояние общества, демографическое и социальное развитие) объясняется необходимость в принятии решений в условиях неопределенности.

По отношению к информированности принимающего решение субъекта каждая задача принятия решений может быть отнесена к одному из трех следующих уровней:

Первый уровень — детерминированный, когда принимающий ре-

шение субъект точно знает все обстоятельства, в которых ему приходится принимать решение. Его цель — максимизировать выигрыш в данных, известных ему условиях.

Второй уровень — стохастический, когда принимающий решение субъект знает лишь множество вариантов обстоятельств, а также априорное вероятностное распределение на этом множестве. Принимающий решение субъект на этом уровне стремится обычно максимизировать свой средний выигрыш.

Третьим уровнем является неопределенный. На этом уровне решение субъект знает только множество вариантов обстоятельств, но ни их вероятности, ни тем более их конкретные будущие реализации ему неизвестны. В этом случае принято говорить о принятии решений в условиях неопределенности. Стремление выбирать решение, максимизирующее минимальный выигрыш, приводит к применению в этом круге задач принципа максимина. Для принятия решения на этом уровне широко используются игры с природой. При этом известные (т.е. уже познанные) закономерности природы, и в том числе полные списки стратегий участников конфликта, рассматриваются как правила соответствующей игры, ее непознанные, но существенные закономерности — как стратегии природы, а под выигрышем природы понимаются потери принимающего решение субъекта.

Необходимость разработки теории принятия решений в условиях неопределенности вызвана следующими обстоятельствами; расширением горизонта планирования, усиливающимся влиянием научно-технического прогресса, все более усложняющимися взаимосвязями между различными процессами, протекающими в экономике и обществе и, как следствие этого, в значительной степени увеличивающейся неопределенностью в последствиях принимаемых решений. Поэтому очень важно и актуально выработать такой подход, который позволил бы принимать оптимальное, с точки зрения возможных последствий, решение в условиях полной или частичной неопределенности.

Когда нет возможности получить статистическую информацию о распределении вероятностей состояний природы θ , можно в качестве оптимальной использовать наиболее осторожную стратегию. Это означает применение принципа выбора максиминной стратегии игрока. Для случая функции платежей $W(\theta, a)$, или минимаксной стратегии игрока Π для случая функции платежей $Z(\theta, a)$ (этот принцип выбора оптимального решения в условиях неопределенности называется правилом Вальда). Правило Вальда определяет слишком пессимистическую стратегию игрока в его игре с природой, так как предполагает применение наиболее осторожной стратегии, являющейся лучшим ответом на самую невыгодную для него стратегию природы. Для некоторых задач принятия решений такая стратегия действительно может быть наиболее подходящая.

Некоторым компромиссом между крайне пессимистической и слишком оптимистической стратегиями является принцип Гурвица,

предполагающий, что каждый человек, принимающий решение в игре с природой, характеризуется некоторой степенью пессимизма в отношении ожидаемых состояний природы. Показателем пессимизма служит число α , удовлетворяющее неравенству $0 \leq \alpha \leq 1$, где $\alpha = 0$ соответствует чрезмерному оптимизму, а $\alpha = 1$ — крайнему пессимизму. По правилу Гурвица, нужно для каждого решения найти наименьшую и наибольшую полезность, умножить ее соответственно на α и $1 - \alpha$ и затем выбрать то решение, для которого такая средневзвешенная полезность максимальна. Таким образом, выбирается решение, для которого

$$\max_{a \in A} [\alpha \min_{\theta \in \Omega} W(\theta, a) + (1 - \alpha) \max_{\theta \in \Omega} W(\theta, a)].$$

Основное возражение в адрес принципа Гурвица заключается в полностью произвольном субъективном выборе показателя пессимизма α . Поэтому этот принцип не имеет большого практического значения.

Не нашла признания и другая версия принципа байесовской стратегии, которая, исходя из неверного обоснования, предполагает одинаковые вероятности для всех состояний природы и выбирает то решение, которое дает максимальную среднюю полезность $W(\theta, a)$. Этот критерий, названный "опирающимся на принцип недостаточного основания", был впервые сформулирован Я.Бернулли. При незнании распределения состояний природы наилучшим будет принцип максимальной полезности Вальда. Принцип Гурвица лишен свойства, которым обладает принцип Вальда как особый случай принципа байесовской стратегии для наименее благоприятного распределения состояний природы.

Некоторой разновидностью принципа максиминной полезности или минимаксной потери Вальда является принцип минимаксного сожаления Сэвиджа. Этот принцип выбора оптимальной стратегии в играх с природой опирается на правило Вальда, применяемое к матрице, элементы которой отражают последствия ошибочных решений для отдельных состояний природы. Если применительно к данному состоянию природы принять ошибочное решение, то, следуя Сэвиджу, принимающий решение может говорить о некотором, связанном с этим, сожалении. Значимость этого сожаления может быть измерена разницей между наибольшей полезностью, достигаемой при правильном для данного состояния природы решении, и полезностью при другом решении.

На основе матрицы полезности можно построить новую матрицу сожалений, к которой можно применить принцип минимаксной стратегии Вальда. Отметим, что принцип Сэвиджа, по существу, является лишь незначительной модификацией принципа Вальда, относящейся к функции потерь, которая теперь выражает сожаление в случае ошибочного решения. Действительно, по принципу Сэвиджа выбирается то решение, для которого $\min_{a \in A} \max_{\theta \in \Omega} z(\theta, a)$, где

$$z(\theta, a) = \max_{a \in A} W(\theta, a) - W(\theta, a).$$

Принципом минимаксного сожаления Сэвиджа часто пользуются при выборе оптимального решения в игре с природой.

Резюмируя рассмотрение принципов выбора наилучшего решения в условиях неопределенности, можно сделать некоторые выводы относительно предпочтительности тех или иных критериев. Для задач принятия решений в условиях полной неопределенности рекомендуется применять принцип максиминной полезности Вальда или минимаксного сожаления Сэвиджа. Принцип Гурвица, использующий субъективный показатель пессимизма, должен применяться с большой осторожностью.

Актуальность приложений теории игр с природой для принятия решений в условиях неопределенности вызвана тем, что во многих задачах принятия решений в экономических и социальных сферах принимающие решение сталкиваются с очень большими (часто непреодолимыми) трудностями при прогнозировании развития социальных или экономических процессов. Трудности эти могут быть вызваны тем, что очень сложно (или вообще невозможно) выделить главные факторы, оказывающие влияние на тот или иной процесс и тем, что эти факторы, каждый сам по себе, вызывают различные, часто диаметрально противоположные последствия, а определить удельный вес каждого невозможно. Обычно количество этих факторов весьма значительно, а сами они обусловлены другими факторами (т.е. взаимосвязаны и взаимозависимы), а в случае принятия решений в длительный период возникают и действуют ранее неизвестные факторы, а старые ослабевают или исчезают.

Трудности вызваны также тем, что невозможно провести эксперимент, собрать достаточную статистическую информацию, пользоваться экспертными оценками и т.д. Поэтому часто бывает невозможно построить не только достаточно точно адекватно описывающую объективную реальность, детерминированную, но даже стохастическую модель. Может случиться и так, что погрешность прогноза настолько значительна, что выгоднее принимать решение не опираясь на данный прогноз, а действуя в условиях неопределенности (частичной или полной).

Однако основной причиной, обуславливающей необходимость применения теории игр с природой для принятия решений в условиях неопределенности, является то, что многим процессам, протекающим в экономической и социальной сферах, из-за их сложности принципиально присуща неопределенность и совершенно невозможно от нее избавиться. Познать данный процесс означает определить полный перечень последствий от принимаемых нами решений, а также понять, что невозможно определить достоверно или с какой-то вероятностью одно из них. Принять оптимальное решение в данных условиях означает принять с точки зрения нашего критерия такое решение, которое учитывало бы все возможные последствия этого решения. Следовательно, принимая некоторое решение в условиях неопределенности, необходимо знать полный перечень возможных состояний исследуемого про-

цесса и ориентироваться на потери (выигрыши), которые мы несем (получаем) в зависимости от возможных состояний процесса и от возможных наших решений.

Математический аппарат для принятия решений в условиях неопределенности дает теория стратегических игр с природой. Далее приводятся две модели принятия решений в условиях неопределенности, при построении которых мы руководствовались вышеизложенными принципами.

Одной из наиболее актуальных и сложных социальных проблем является проблема регулирования роста городов. Курс на активизацию малых, усиление промышленного развития средних и ограничение чрезмерного роста больших и сверхбольших городов продиктован самой жизнью. Развитие небольших и средних благоустроенных городов позволит улучшить и оздоровить условия жизни. Одновременно будущее рациональное размещение производительных сил устранил чрезмерную скученность населения в крупных городах. С этой целью было принято решение об ограничении и запрещении строительства новых промышленных предприятий, исключая связанные с обслуживанием городского населения и хозяйства, в 78 городах Советского Союза с населением свыше 250 тыс. человек. В настоящее время проводится политика на сдерживание роста крупных городов. Это необходимо как для рационального размещения производительных сил на территории страны, так и для того, чтобы преимущества крупных городов в социальной и бытовых сферах не были сведены на нет из-за перенаселенности.

Важнейшей проблемой современных крупных городов являются быстрые темпы роста их населения за счет механического прироста, что приводит к ряду нежелательных последствий. Ниже рассматриваются теоретико-игровые модели выбора миграционной политики города в условиях неопределенности [16].

Один из показателей благосостояния жителей любого города — это отношение числа занятых в сфере бытового обслуживания к численности населения города. Если оно неудовлетворительно, то естественно желание города увеличить это соотношение. Но многие профессии сферы бытового обслуживания не относятся к числу "особо престижных" профессий, поэтому жители города неохотно идут на работу в сферу обслуживания. Следовательно, ставя цели увеличить отношение числа занятых в сфере обслуживания к численности населения города, последний может рассчитывать в значительной степени на мигрантов. Но, принимая мигрантов в сферу обслуживания, необходимо учитывать текучесть кадров, вызванную различными факторами (непрестижностью профессий и пр.), в результате которой далеко не все мигранты, принявшие на работу в сферу обслуживания, останутся работать в ней, а не перейдут на другие места работы (если рассматривать некоторый плановый период). В связи с этим возникает задача — какую миграционную политику в такой ситуации должен выработать крупный город?

Поскольку город желает привлечь мигрантов в сферу обслуживания, а внешняя среда оказывает сопротивление этому, то возникшая ситуация может быть формализована в виде игры. Для построения модели введем обозначения:

пусть V — численность населения города; M — число жителей данного города, занятых в сфере обслуживания; N — число мигрантов, принимаемых городом для работы в сфере обслуживания; (V, M, N берутся на начало планового периода). N' — число мигрантов, оставшихся работать в сфере обслуживания к концу планового периода.

Введем следующие гипотезы:

$$1. \frac{M}{V} < \frac{1}{2}.$$

2. Если v — естественный прирост населения города в рассматриваемом плановом периоде, а m — число жителей данного города, поступивших на работу в сферу обслуживания в данном плановом периоде, то $\frac{m}{v} = \frac{M}{V}$.

Рассмотрим взаимоотношения между городом и мигрантами, как игру с природой.

Состояние природы в данном случае — это величина N' (городу неизвестно, какое число принятых в сферу обслуживания из числа мигрантов останется в ней к концу планового периода). Не зная N' в момент принятия решения о числе мигрантов N , которых город принимает в сферу обслуживания, город должен выработать приемлемую для себя политику относительно числа N .

Пусть стратегии города в отношении числа мигрантов, принимающихся в сферу обслуживания, следующие:

α_1 — принять 4л человек;

α_2 — принять 2л человек;

α_3 — принять 0 человек.

(Рассматриваются только три стратегии в целях упростить вычисление матрицы — гораздо интереснее было бы рассмотреть большее число стратегий.)

Состояния природы:

θ_1 — все мигранты на конец планового периода останутся в сфере обслуживания;

θ_2 — половина мигрантов на конец планового периода останется в сфере обслуживания;

θ_3 — никто из мигрантов на конец планового периода не останется в сфере обслуживания.

(Снова рассматривается лишь три стратегии для простоты вычислений.)

Пусть A^0 — матрица, элементами которой являются соотношения числа занятых в сфере обслуживания к числу жителей города на конец планового периода при условии, что город применяет свои стратегии $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$, а состояния природы $\theta_1, \theta_2, \theta_3$.

$$A^0 = \begin{matrix} & \begin{matrix} \alpha_1 & \alpha_2 & \alpha_3 \end{matrix} \\ \begin{matrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \theta_3 \end{matrix} & \begin{pmatrix} \frac{M+4n}{V+4n} & \frac{M+2n}{V+2n} & \frac{M}{V} \\ \frac{M+2n}{V+4n} & \frac{M+n}{V+2n} & \frac{M}{V} \\ \frac{M}{V+4n} & \frac{M}{V+2n} & \frac{M}{V} \end{pmatrix} \end{matrix}$$

Найдем матрицу потерь города $A^{(1)}$, которая получается путем вычитания из всех элементов матрицы $A^{(0)}$ величины $\frac{M}{V}$ и изменения у получившейся матрицы знака на противоположный:

$$A^{(1)} = \begin{matrix} & \begin{matrix} \alpha_1 & \alpha_2 & \alpha_3 \end{matrix} \\ \begin{matrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \theta_3 \end{matrix} & \begin{pmatrix} -\frac{4n(V-M)}{V(V+4n)} & -\frac{2n(V-M)}{V(V+2n)} & 0 \\ -\frac{2n(V-2M)}{V(V+4n)} & -\frac{n(V-2M)}{V(V+2n)} & 0 \\ \frac{4nM}{V(V+4n)} & \frac{2nM}{V(V+2n)} & 0 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

Оптимальной стратегией города, соответствующей критерию минимакса ожидаемых потерь, будет его α_3 стратегия — принять 0 мигрантов. Она гарантирует малые ожидаемые потери независимо от состояния природы.

Это очень осторожное решение, гарантирующее, что $\frac{M}{V}$ останется прежним. Пользуясь принципом минимакса в статистических играх, мы предполагаем, что природа будет действовать как разумный противник, выгода которого противоположна нашей собственной выгоде, т.е. наихудшим для нас образом. На самом же деле природа является нейтральным противником. Поэтому можно воспользоваться критерием Сэвиджа, гарантирующим минимакс сожалений по поводу того, что город не угадал состояния природы.

Найдем матрицу $A^{(2)}$ сожалений города по поводу того, что он не угадал состояния природы правильно, которая находится путем вычитания из каждой строки матрицы $A^{(1)}$ минимального элемента этой строки:

$$A^{(2)} = \begin{matrix} & \begin{matrix} \alpha_1 & \alpha_2 & \alpha_3 \end{matrix} \\ \begin{matrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \theta_3 \end{matrix} & \begin{pmatrix} 0 & \frac{2n(V-M)}{(V+4n)(V+2n)} & \frac{4n(V-M)}{V(V+4n)} \\ 0 & \frac{n(V-M)}{(V+4n)(V+2n)} & \frac{2n(V-2M)}{V(V+4n)} \\ \frac{4nM}{V(V+4n)} & \frac{2nM}{V(V+2n)} & 0 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

Решение получаем в оптимальных смешанных стратегиях.

Предыдущие принципы основывались на том, что мы ничего не знаем о вероятности того, что природа находится в том или ином состоянии.

Предположим, что известны априорные вероятности состояния природы (они могут быть получены путем прогнозирования и т.д.);

1 состояние природы — с вероятностью P_1 ;

2 состояние природы — с вероятностью P_2 ;

3 состояние природы — с вероятностью P_3 .

Тогда можем оценить среднее значение ожидаемых потерь для всех стратегий города ($i = 1, 3$):

$$z(\alpha_i) = p_1 z(\alpha_i, \theta_1) + p_2 z(\alpha_i, \theta_2) + p_3 z(\alpha_i, \theta_3);$$

где $z(\alpha_i)$ — средние потери города при применении им стратегии α_i , $z(\alpha_i, \theta_l)$ — потери города при применении им стратегии α_i при условии, что состояние природы θ_l ($l = 1, 3$).

Можно определить байесову стратегию города, найдя $\min z(\alpha_i)$.

Модель может быть усовершенствована путем замены гипотезы (1): $\frac{M}{V} < \frac{1}{2}$.

рассмотрением следующих случаев:

а) $\frac{M}{V} < \frac{1}{2k}$;

б) $\frac{M}{V} = \frac{1}{2k}$;

в) $\frac{M}{V} > \frac{1}{2k}$;

где k — коэффициент, равный средней численности семьи мигранта (kN — фактический механический прирост).

Критерий, использовавшийся в предыдущей модели, был ориентирован на улучшение, или, по крайней мере, сохранение соотношения и носил статистический характер. В нем не учитывался экономический эффект от деятельности работников, вновь привлеченных в сферу обслуживания, не учитывалось стремление города ликвидировать реально существующую нехватку работников в сфере обслуживания и экономические последствия, связанные с этой нехваткой.

Предположим, что городу необходимо для полной обеспеченности сферы обслуживания рабочей силой, привлечь со стороны $3n$ работников.

Пусть x_j — количество фактически принимаемых городом работников-мигрантов ($j = \overline{1, l}$ — стратегии города);

$y_i(x_j)$ — количество оставшихся в сфере обслуживания из числа x_j принятых городом работников-мигрантов на конец планового периода ($i = \overline{1, m}$ — состояния природы);

k — стоимость услуг, предоставленных населению одним вновь принятым работником сферы обслуживания в данном плановом периоде;

c — себестоимость производства услуг, предоставленных населению одним вновь принятым работником сферы обслуживания в данном плановом периоде;

b — затраты на размещение (затраты на городское строительство, хозяйство и др.) одного мигранта и его семьи в данном плановом периоде;

E — доля используемых затрат на размещение в данном плановом периоде.

Тогда эффект P_{ij} от деятельности принимаемых в сферу обслуживания работников-мигрантов можно выразить следующим образом:

$$P_{ij} = ky_i(x_j) - cy_i(x_j) - bEx_j.$$

Пусть город располагает стратегиями $\beta_1, \beta_2, \beta_3$.

β_1 — принять $3n$ мигрантов в сферу обслуживания;

β_2 — принять $2n$ мигрантов в сферу обслуживания;

β_3 — принять n мигрантов в сферу обслуживания.

Состояние природы:

a_1 — в сфере обслуживания на конец планового периода останется $\frac{3}{4}$ мигрантов из числа принятых;

a_2 — в сфере обслуживания на конец планового периода останется $\frac{1}{2}$ мигрантов;

a_3 — в сфере обслуживания на конец планового периода останется $\frac{1}{4}$ мигрантов.

Найдем матрицу A потерь города, которые выражаются как $a_{ij} = -P_{ij} = -(k - c)y_i(x_j) + bEx_j$.

a_{ij} в данном случае представляет собой потери города в случае, если он применяет свою j -ю стратегию при условии, что будет i -е состояние природы.

Для простоты вычислений сократим матрицу потерь на n и обозначим $(k - c) = d$.

Тогда получим:

$$A = \begin{pmatrix} -\frac{9}{4}d + 3bE & -\frac{3}{2}d + 2bE & -\frac{3}{4}d + bE \\ -\frac{3}{2}d + 3bE & -d + 2bE & -\frac{1}{2}d + bE \\ -\frac{3}{4}d + 3bE & -\frac{1}{2}d + 2bE & -\frac{1}{4}d + bE \end{pmatrix}.$$

Решение задачи в данной постановке по критерию минимакса потерь тривиально. Выбор оптимальной стратегии в конечном итоге за-

висит от соотношения между величинами d и bE , а также от того, насколько благоприятны (неблагоприятны) состояния природы.

Гораздо интереснее рассмотреть решение этой задачи по критерию Сэвиджа, обеспечивающему минимакс дополнительных потерь, возникающих из-за ошибок при прогнозировании состояний природы. Минимальные потери города при i -м состоянии природы равны величине $\min_j a_{ij}$.

Тогда дополнительные потери, которые несет город из-за ошибок в определении состояний природы, равны величине a'_{ij} , где $d > 4bE$, $a'_{ij} = a_{ij} - \min_j a_{ij}$.

В случае, когда $d < \frac{4}{3}bE$ и в случае, когда $d > 4bE$ решения задачи по критерию минимакса потерь и по критерию Сэвиджа совпадают.

При $\frac{4}{3}bE \leq d < 2bE$ матрица A' дополнительных потерь будет иметь следующий вид:

$$A' = \begin{pmatrix} 0 & \frac{3}{4}d - bE & \frac{3}{2}d - 2bE \\ -d + 2bE & -\frac{1}{2}d + bE & 0 \\ -\frac{1}{2}d + 2bE & -\frac{1}{4}d + bE & 0 \end{pmatrix}$$

При $2bE \leq d \leq 4bE$:

$$A' = \begin{pmatrix} 0 & \frac{3}{4}d - bE & \frac{3}{2}d - 2bE \\ 0 & \frac{1}{2}d - bE & d - 2bE \\ -\frac{1}{2}d + 2bE & -\frac{1}{4}d + bE & 0 \end{pmatrix}$$

В этих двух случаях оптимальное решение по критерию Сэвиджа находится в смешанных стратегиях. Тогда N — количество работников-мигрантов, принимаемых в сферу обслуживания будет равно:

$$N = \sum_{j=1}^3 p_j x_j.$$

где p_j — вероятность применения городом j -й чистой стратегии; x_j — количество принимаемых в сферу обслуживания мигрантов согласно j -й чистой стратегии города.

Рассматриваемая модель может быть распространена и на сферу торговли, строительства и другие трудонедостаточные сферы крупных городов.

Таким образом, зная величины d, b, E , мы можем дать рекомендации относительно количества работников-мигрантов, которых надо принять в сферу обслуживания (торговли). Для практической реали-

зации можно предложить несколько вариантов решения по различным критериям. Окончательный выбор того или иного варианта будет осуществляться лицами, ответственными за кадровую, экономическую и демографическую политику города.

Рассмотрим подход к стратегическому планированию в условиях неопределенности. Пусть отрасль (предприятие, объединение) должна принять решение о развитии своего производства на некоторый плановый период. Ей необходимо определить объем капиталовложений для развития производства и их структуру.

Предположим, что отрасль должна сделать выбор между приобретением специализированного оборудования для производства продукции одного вида и приобретением неспециализированного многоцелевого оборудования для производства продукции нескольких видов (предположим, двух).

Обозначим:

c_1 — стоимость единицы специализированного оборудования для производства продукции 1-го вида;

c_2 — стоимость единицы многоцелевого неспециализированного оборудования для производства продукции 1-го и 2-го видов.

Эти два вида оборудования являются взаимозаменяемыми в смысле возможности выпускать продукцию 1-го вида и не взаимозаменяемыми в смысле возможности выпуска продукции 2-го вида. Продукцию 1-го вида можно выпускать на любом из двух видов оборудования, тогда как продукцию 2-го вида можно выпускать только на втором, многоцелевом оборудовании.

Пусть в данный момент времени отрасль выпускает продукцию 1-го вида. Однако существует возможность, что в будущем, когда будут введены новые мощности, она должна будет выпускать и продукцию 2-го вида. Ассортимент продукции может измениться и состоять из всевозможных сочетаний продукции 1-го и 2-го видов.

В случае, если будет нехватка оборудования для производства продукции 2-го вида (если потребность в таком производстве появится), то отрасль должна будет понести дополнительные затраты, связанные с приобретением дополнительного оборудования для производства продукции 2-го вида и некоторые потери, связанные с простоем части оборудования для производства продукции 1-го вида (здесь предполагается, что продукции 1-го и 2-го видов в некотором смысле взаимозаменяемы, т.е. с ростом спроса на продукцию 2-го вида падает спрос на продукцию 1-го вида и наоборот, а производятся эти продукты будут на предприятиях одной и той же отрасли, и, следовательно, их производство будет обусловлено ресурсными ограничениями, т.е. с ростом объема производства продукции 1-го вида, объем производства продукции 2-го вида будет снижаться).

Обозначим:

c_3 — стоимость единицы специализированного оборудования для производства продукции 2-го вида.

В том случае, если $c_2 < c_1$ решение очевидно: необходимо приобрести многоцелевое неспециализированное оборудование для производства продукции 1-го и 2-го видов; а в том случае, если $c_2 > c_1 + c_3$ необходимо приобрести специализированное оборудование для производства продукции 1-го вида и в случае необходимости заменить его специализированным оборудованием 2-го вида. Однако, в действительности, как правило,

$$c_2 > c_1; c_2 > c_3 \quad (1)$$

и одновременно:

$$c_2 < c_1 + c_3, \quad (2)$$

т.е. неспециализированное оборудование дороже каждого в отдельности специализированного вида оборудования, но дешевле, чем их сумма. В дальнейшем будем рассматривать задачу принятия решения о выборе оборудования в предположениях (1) и (2), являющихся типичными для реальных ситуаций. Неспециализированное многоцелевое оборудование стоит дороже специализированного, однако общая сумма потерь, которые несет отрасль при неблагоприятном стечении обстоятельств (с точки зрения ее выбора) будет состоять из потерь от недоиспользования неспециализированного оборудования для производства продукции 1-го вида и дополнительных затрат, связанных с приобретением неспециализированного оборудования для производства продукции 2-го вида или из потерь, которые отрасль несет от того, что производит продукцию 1-го вида на более дорогостоящем неспециализированном оборудовании.

Если невозможно заранее дать прогноз о том, какая будет необходима продукция (а такая ситуация возможна, например, в машиностроении, где потребность в продукции может изменяться в зависимости от неизвестных нам факторов), то выбор решения необходимо будет производить, исходя из минимальных потерь, которые мы несем, если неправильно определим возможную потребность в продукции того или иного вида.

Следовательно, выбор вида и количества оборудования определяется следующими обстоятельствами:

I. В момент принятия решения существуют следующие предположения о том, какую продукцию необходимо будет выпускать после ввода всех мощностей:

1. Необходимо будет выпускать продукцию 1-го вида.
2. Необходимо будет выпускать продукцию 2-го вида.
3. Необходимо будет выпускать продукцию 1-го и 2-го видов в различных пропорциях.

II. Дать прогноз о спросе на продукцию 1-го или 2-го вида невозможно в силу целого ряда причин (причем некоторые из них делают прогнозирование принципиально невозможным). И, следовательно, возможно только перечисление всех взаимоисключающих альтернатив.

III. Пользоваться экспертными оценками и приписывать той или иной альтернативе различные субъективные вероятности невозможно (и нежелательно).

IV. Потребность в продукции того или иного вида должна быть удовлетворена полностью. В случае, если принято решение о приобретении специализированного оборудования 1-го вида, а возникла необходимость выпускать вместо него продукцию 2-го вида, то необходимо будет внести дополнительные капиталовложения для приобретения оборудования для выпуска продукции 2-го вида, а специализированное оборудование для выпуска продукции 1-го вида будет простаивать.

Данная ситуация достаточно характерна для всего машиностроения и, особенно, для некоторых его отраслей.

Возникает задача: какое оборудование и в каком количестве необходимо приобрести? При решении этой задачи возможно руководствоваться лишь теми убытками, которые отрасль понесет, если будет неправильно определена возможная альтернатива. Отметим, что это задача о принятии решения в условиях полной неопределенности.

Данная задача может быть формализована в виде игры с природой.

Состояниями природы будут возможные взаимоисключающие альтернативы о потребности в продукции 1-го и 2-го видов.

Стратегиями активного игрока (отрасли) будут возможные взаимоисключающие решения о приобретении оборудования (специализированного или неспециализированного) для удовлетворения потребности в продукции.

В качестве критерия оптимальности выберем критерий минимальных гарантированных потерь от того, что отрасль неправильно определила истинное состояние природы. Следовательно, оптимальным будет то решение, которое дает наименьшие потери при всех возможных состояниях природы. В том случае, когда речь идет о крупных денежных и материальных средствах и принятии важного стратегического решения такой осторожный подход кажется нам единственно возможным, если учесть, что невозможно определить истинное состояние природы. При отходе от него мы рискуем тем, что можем понести значительно большие потери (причем вероятность того, что мы их понесем, нам неизвестна), что при принятии важных решений недопустимо.

Введем следующие обозначения:

k_i — количество единиц продукции 1-го вида, которое необходимо будет выпускать;

r_i — количество единиц продукции 2-го вида, которое необходимо будет выпускать.

Состояния природы:

всего n состояний, где i -е состояние следующее: необходимо выпускать k_i единиц продукции 1-го вида и r_i единиц продукции 2-го вида ($i = \overline{1, n}$), причем $r_1 = 0, k_n = 0$.

Обозначим:

e — количество единиц специализированного оборудования, необходимых для выпуска единицы продукции 1-го вида;

l — количество единиц многоцелевого неспециализированного оборудования, необходимых для выпуска единицы продукции 1-го вида;

s — количество единиц многоцелевого неспециализированного оборудования, необходимых для выпуска единицы продукции 2-го вида;

g — количество единиц специализированного оборудования, необходимых для выпуска единицы продукции 2-го вида.

Тогда:

$k_i e$ — количество единиц специализированного оборудования, необходимого для выпуска k_i единиц продукции 1-го вида;

$r_i g$ — количество единиц специализированного оборудования, необходимого для выпуска r_i единиц продукции 2-го вида;

$k_i l$ — количество единиц многоцелевого неспециализированного оборудования, необходимого для выпуска k_i единиц продукции 1-го вида;

$r_i s$ — количество единиц многоцелевого неспециализированного оборудования, необходимого для выпуска r_i единиц продукции 2-го вида;

$k_i e c_1$ — стоимость специализированного оборудования, необходимого для выпуска k_i единиц продукции 1-го вида;

$k_i l c_2$ — стоимость неспециализированного многоцелевого оборудования, необходимого для выпуска k_i единиц продукции 1-го вида;

$r_i s c_3$ — стоимость неспециализированного многоцелевого оборудования, необходимого для выпуска r_i единиц продукции 2-го вида;

$r_i g c_3$ — стоимость специализированного оборудования, необходимого для выпуска r_i единиц продукции 2-го вида.

Отметим, что:

$$k_i > k_{i+1}, \forall_i (i = \overline{1, n-1}),$$

$$r_i < r_{i+1}, \forall_i (i = \overline{1, n-1}).$$

Отрасль располагает n стратегиями.

Стратегии отрасли:

j -я стратегия: приобрести $k_j e$ единиц специализированного оборудования и $r_j s$ единиц неспециализированного многоцелевого оборудования ($j = \overline{1, n}$)

$$r_1 = 0; k_n = 0.$$

Как уже отмечалось выше, в качестве критерия возьмем минимальные гарантированные потери, которые несет отрасль. Данная ситуация может быть формализована в виде матричной игры с природой с матрицей "выигрышей" природы, т.е. потерь отрасли $A = \{a_{ij}\}$, где i — номер состояния природы, j — номер стратегии отрасли. Размерность матрицы $n \times n$. Вдоль главной диагонали ее стоят нули, а все остальные элементы матрицы больше нуля.

Стратегии отрасли:

Состояния природы:

$$\begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & \dots & n \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ \vdots \\ n \end{matrix} & \begin{pmatrix} 0 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 0 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & 0 \end{pmatrix} \end{matrix},$$

где элементы матрицы $A = \{a_{ij}\}$:

$$a_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{если } i=j; \\ (k_j - k_i)ec_1 + (r_i - r_j)gc_2, & \text{если } i > j; \\ (k_i - k_j)(lc_2 - ec_1), & \text{если } i < j \text{ и } k_i \geq \frac{(r_j - r_i)s}{l}; \\ (k_i - k_j)(lc_2 - ec_1) + \left[\frac{(r_j - r_i)s}{l} - k_i \right] lc_2, & \text{если } i < j \text{ и } \frac{(r_j - r_i)s}{l} > k_i. \end{cases}$$

Случай $i = j$ означает, что отрасль правильно определила (угадала) состояние природы и приобрела только то оборудование, которое необходимо для удовлетворения потребностей в продукции с минимальными (равными нулю) потерями ($\forall i = j : a_{ij} = 0$, где $i = \overline{1, n}$; $j = \overline{1, n}$).

Случай $i > j$ означает, что отрасль приняла решение о приобретении большего количества специализированного оборудования для производства продукции 1-го вида, чем необходимо для удовлетворения потребности в продукции 1-го вида согласно i -му состоянию природы и меньшего количества неспециализированного многоцелевого оборудования, чем необходимо для удовлетворения потребности в продукции 2-го вида. Следовательно, она несет потери от простоя $(k_j - k_i)e$ единиц специализированного оборудования для производства продукции 1-го вида и вынуждена сделать дополнительные затраты для приобретения $(r_i - r_j)g$ единиц специализированного оборудования для производства продукции 2-го вида.

Случай $i < j$ означает, что отрасль приняла решение о приобретении большего количества неспециализированного многоцелевого оборудования, чем необходимо для удовлетворения потребности в продукции 2-го вида и меньше специализированного оборудования для производства продукции 1-го, чем необходимо для удовлетворения потребности в продукции 1-го вида. Следовательно, она несет потери от того, что вынуждена выпускать часть продукции 1-го вида на более дорогостоящем неспециализированном многоцелевом оборудовании.

Случай $i < j$ и $\frac{(r_j - r_i)s}{l} > k_i$ означает, что отрасль несет те же по-

тери, что и в предыдущем случае, плюс дополнительные потери от того, что она приобрела больше неспециализированного многоцелевого оборудования для производства продукции 1-го и 2-го видов, чем необходимо, согласно i -му состоянию природы. Следовательно, часть неспециализированного многоцелевого оборудования простаивает.

Решение получаем в оптимальных смешанных стратегиях.

Так как вдоль главной диагонали стоят нули, а все остальные элементы матрицы потерь больше нуля, то матрица потерь совпадает с матрицей дополнительных потерь. Следовательно, решение по критерию минимакса потерь совпадает с решением по критерию Сэвиджа, обеспечивающему минимакс дополнительных потерь, возникающих из-за ошибок при прогнозировании состояний природы.

Данная матричная игра сводится к задаче линейного программирования и решается симплекс-методом. В результате получаем p_j -вероятности применения в оптимальной смешанной стратегии каждой j -й чистой стратегии ($j = \overline{1, n}$). Как известно, в данной модели, согласно j -й чистой стратегии, необходимо приобрести k_{je} единиц специализированного оборудования для выпуска продукции 1-го вида и r_{js} единиц неспециализированного многоцелевого оборудования для выпуска продукции как 1-го, так и 2-го вида.

Тогда, оптимальным будет следующее решение. Необходимо приобрести $N = \sum_{j=1}^n k_{je} p_j$ единиц специализированного оборудования для выпуска продукции 1-го вида на сумму $K_1 = Nc_1 = c_1 \sum_{j=1}^n k_{je} p_j$ рублей и $L = \sum_{j=1}^n r_{js} p_j$ единиц неспециализированного многоцелевого оборудования для выпуска как продукции 1-го, так и 2-го видов на сумму $K_2 = Lc_2 = c_2 \sum_{j=1}^n r_{js} p_j$ рублей, а общий объем капиталовложений для приобретения оптимального количества специализированного и неспециализированного оборудования будет составлять $K = K_1 + K_2 = \sum_{j=1}^n k_{je} p_j c_1 + \sum_{j=1}^n r_{js} p_j c_2$ рублей.

Такое решение гарантирует отрасли минимальные потери в условиях неопределенности.

Выше были рассмотрены теоретико-игровые модели принятия решений о кадровой политике в сфере обслуживания крупного города и о выборе оптимального объема капитальных вложений для приобретения оборудования и их оптимальной структуре в условиях неопределенности. Несмотря на то, что эти модели описывают совершенно различные процессы, при их построении используется одинаковый методологический подход и один и тот же математический аппарат. Это обусловлено тем, что обоим моделируемым процессам присуща неоп-

ределенность в последствиях принимаемых решений. Поэтому в обоих случаях мы исходим из тех потерь, которые несет принимающая сторона при различных состояниях природы и рассматривали процесс принятия решений как игру с природой.

Однако между двумя процессами существуют и принципиальные различия. Так, в модели о выборе решения о кадровой политике сферы обслуживания крупного города предполагалось, что можно, если существует дополнительная статистическая информация, применять критерий Байеса-Лапласа (байесовское решение). Возможность сбора дополнительной информации допускалась, хотя и оговаривалась различными дополнительными условиями (относительным постоянством влияющих факторов и степени их влияния, доминированием одного фактора или небольшой группы хорошо изученных факторов и т.д.). В модели принятия решения о выборе оптимального объема капиталовложений для приобретения оборудования, возможность сбора дополнительной информации полностью исключается, так как это одновременное решение и знание последствий предыдущих решений нам ничего не дает.

Этот подход можно использовать как для развития некоторых элементов непроизводственной (социальной, бытовой) инфраструктуры, так и для принятия решений о распределении капиталовложений в развитие производства товаров народного потребления для удовлетворения в них потребностей населения. В последнем случае неопределенность будет вызываться сложной комбинацией таких факторов, как изменение моды, потребительского поведения, связанного с изменением ориентаций, престижа потребления различных товаров. Тогда критерием оптимальности будет такое распределение капиталовложений в развитие производства (выбор оборудования), которое максимально удовлетворяло бы возможные потребности населения. Как правило, ввиду быстрого, часто импульсивного и плохо поддающегося прогнозам изменения потребностей это будет более дорогое неспециализированное, многоцелевое оборудование. Обоснование потребностей в нем можно будет дать только на основании привлечения, наряду с экономическими, и широкого спектра социальных критериев.

Таким образом, применение теории игр с природой в качестве математического аппарата теории принятия решений в условиях полной или частичной неопределенности не только возможно, но и необходимо, а сама теория принятия решений в условиях неопределенности приобретает все большее значение в современных условиях.

3. СОГЛАСОВАНИЕ ИНТЕРЕСОВ В СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

При анализе социальных систем очевидным является несовпадение целей элементов системы. Вместе с тем каждый элемент системы (будь то отдельный человек, семья, коллектив, организация) заинтере-

ресован в сохранении рассматриваемой социальной системы (иначе нечего было бы рассматривать), так как ее существование гарантирует достижение этим элементом определенных целей. Можно сказать, что достижение некоторой общесистемной цели является необходимым условием достижения личных целей ее элементов. Необходимым, но не достаточным, так как цели системы формируются (даже если они жестко регламентированы ранее), а тем более реализуются ее элементами в процессе функционирования системы. Но цели элементов, совпадая в главном — в заинтересованности в успешном функционировании системы, в остальном могут не совпадать. Между ними может существовать конкуренция за место в иерархии системы, пораженная стремлением к лидерству. Они могут бороться за более выгодное для себя распределение материального и морального поощрения. Наконец, представления о детализации конечной цели системы могут не совпадать у ее отдельных элементов. Таким образом, интересы различных элементов системы, как правило, не совпадают между собой, но и не являются противоположными.

Для анализа функционирования сложных систем сложилось целое научное направление — исследование операций, использующее теорию игр, математическое программирование, теорию оптимального управления, имитационное моделирование, теорию графов и некоторые другие разделы прикладной математики, объединенные некоторой общесистемной идеологией. Под операцией понимается совокупность целенаправленных действий, а целью исследования операций является разработка некоторых формализованных процедур, позволяющих наилучшим (оптимальным) образом достигать поставленные цели.

Теория игр наиболее близка к идеологии исследования операций. Ее можно считать основным элементом математической теории исследования операций, так как она дает наилучшее обоснование оптимального принятия решений.

Вместе с тем необходимо отметить, что классическую математическую теорию игр для анализа конкретных социальных систем необходимо дополнять некоторым общесистемным инструментарием (общесистемной идеологией) исследования поведения сложных систем и принятия решений.

К настоящему времени для этих целей сложились и оформились в самостоятельные научные направления теория информационных иерархических систем [17; 18], включая теорию игр с противоположными интересами [19; 20] и близкая к ним по постановке задач теория активных систем [21; 22].

В организационных системах процедуры управления построены по иерархическому принципу. Для исследования оптимального функционирования иерархических систем оказалось недостаточно классической теории оптимального управления и математического программирования ввиду того, что в условиях взаимодействия подсистем,

организованных по иерархическому принципу, понятие оптимальности функционирования всей системы в целом является неоднозначным. Поведение подсистем в рамках реализации общесистемной цели может быть недостаточно скоординировано между собой, создание же общесистемного координирующего центра сразу же порождает вопросы о его компетентности, информированности и достаточной степени влияния на подсистемы. Вместе с тем деление социальных систем на подсистемы и возникновение в них иерархической структуры обусловлено несколькими фундаментальными причинами. К ним, прежде всего, относится специфика элементов этих систем, наделенных собственными интересами, способностью к принятию самостоятельных решений и независимому поведению. Другой причиной является невозможность своевременного и необходимого для эффективного принятия решений сбора и обработки информации о состоянии системы единым управляющим центром.

Здесь возникает задача минимизации неопределенности в принятии решений о функционировании системы и о выборе степени централизации и децентрализации. В чрезмерно централизованных системах управляющий орган, будучи не в состоянии обработать необходимую для принятия решений информацию, не может принимать удовлетворительные решения. Поэтому он вынужден передавать часть прав в принятии решений отдельным элементам системы в расчете на их компетентность и заинтересованность в общесистемных целях. Принятие решения подсистемами позволяет повысить информационное обеспечение их решений, однако, улучшая функционирование системы до определенной степени, децентрализация порождает появление неопределенности, связанной с более независимым поведением подсистем, добивающихся реализации собственных целей. Задачи информационной теории иерархических систем управления и состоят в том, чтобы так обеспечить обмен информацией в системе, чтобы достигалась степень децентрализации, дающая наибольшую эффективность управления.

В основе информационной теории иерархических систем лежит общая теория управления и теория игр с непротивоположными интересами. Последняя [19; 20] исследует класс игр, возникающих в социальных системах и характеризующихся тем, что интересы сторон, принимающих участие в моделируемом явлении, хотя и не совпадают полностью, но и не противоположны полностью друг другу. Практически все социальные проблемы можно отнести к этому классу игр. В основе этих игр лежат предположения о необходимости строгого разграничения понятий "оперирующая сторона" и "исследователь операции". Причем исследование операций производится в интересах оперирующей стороны, а критерий эффективности (целевая функция) оперирующей стороны зависит не только от ее поведения, но и от некоторых неконтролируемых (как правило неопределенных) факторов, основными среди которых являются действия других участников опе-

рации. Анализ различных вариантов принятия решений производится исследователем операций в условиях частичной или полной неопределенности (информированность его может не совпадать с информированностью оперирующей стороны). Поэтому в играх с непротивоположными интересами исследуются, в случае принятия решений равноправными элементами системы, вопросы передачи информации одних подсистем другим на добровольной основе для увеличения личных и общесистемных выигрышей за счет уменьшения неопределенности в системе, а также устойчивости (надежности, равновыгодности) коллективных решений. В случае же иерархических систем исследуется вопрос о фиксированной последовательности ходов на основе иерархических игр с непротивоположными интересами. Исследуется вопрос о преимуществе права первого хода, которым располагает управляющий (координирующий) центр и об эффективном использовании этого преимущества для достижения общесистемных целей путем правильного направления самостоятельного поведения подсистем на реализацию общесистемных целей.

Проблему несовпадения, но не противоположности интересов в социальных системах хорошо иллюстрирует пример взаимодействия поставщиков и потребителей с центральными планирующими органами (центром). Очевидно, что существование каждого из названных участников конфликта бессмысленно в отсутствии остальных, все они заинтересованы в достаточно благополучном (хотя бы в смысле платежеспособности) существовании друг друга и в хорошем функционировании. Вместе с тем также очевидно, что каждый из них стремится занять более выгодные позиции в системе. Поставщики хотят навязать свои условия поставок потребителям, потребители свои условия поставщикам и все вместе получить от Центра некоторые привилегии во взаимоотношениях друг с другом. Центр же пытается так подчинить себе поведение поставщиков и потребителей, чтобы получить максимум конечной продукции, не считаясь всегда с их интересами. Отметим, что существование Центра всегда оправдано, даже в рыночных системах необходимо поддерживать чистоту конкуренции на рынке.

Одно из возможных направлений согласования взаимодействия предприятий состоит в том, что центральные планирующие органы будут проводить такую политику стимулирования работы предприятий, которая позволит эффективно функционировать каждому предприятию и вместе с тем выпускать продукцию, наиболее выгодную для народного хозяйства, используя все свои производственные ресурсы. Причем, можно стимулировать не только объем и структуру выпуска продукции, но и сроки производства и поставок этой продукции от предприятий-поставщиков к предприятиям-потребителям.

Ниже остановимся более подробно на рассмотрении этого направления.

Рассмотрим двухуровневую иерархическую систему:



Обозначим:

Центр — Ц;

Предприятие-поставщик — Π_i ;

Предприятие-потребитель — Π_{II} .

Ограничимся случаем, когда предприятия жестко делятся на поставщиков и потребителей.

Пусть имеется n предприятий-поставщиков (Π_i — i -е предприятие-поставщик, $i = \overline{1, n}$) и m предприятий-потребителей (Π_{II} — j -е предприятие-потребитель, $j = \overline{1, m}$). Каждое предприятие-поставщик производит продукцию, являющуюся ресурсом для производства продукции предприятием-потребителем. Предприятие-потребитель, получая ресурсы от предприятий-поставщиков, производит "конечную" продукцию, которая, в общем случае, не является ресурсом для производства новых видов продукции, по крайней мере в данном плановом периоде.

Предположим, что центральный планирующий орган определил некоторую структуру производства продукции для предприятий-поставщиков и минимальное необходимое количество этой продукции по каждому виду, т.е.

$$V = \sum_{i=1}^n V_i = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^K c_k x_{ik},$$

где V — общий объем производства всех предприятий-поставщиков в денежном выражении; V_i — объем производства i -го предприятия-поставщика в денежном выражении; K — общее количество наименований продуктов, которые необходимо произвести в данном плановом периоде предприятиям-поставщикам; k — индекс продукта; c_k — цена k -го вида продукта; x_{ik} — объем выпуска k -го продукта i -м предприятием-поставщиком.

Аналогично, пусть центральный планирующий орган (Центр) определил некоторую структуру производства для предприятий-потребителей и минимальное необходимое количество этой продукции по каждому виду, т.е.

$$W = \sum_{j=1}^m W_j = \sum_{j=1}^m \sum_{l=1}^L c_l x_{jl},$$

где W — общий объем производства всех предприятий-потребителей в денежном выражении; W_j — объем производства j -го предприятия-потребителя в денежном выражении; L — общее количество наименований продуктов, которое необходимо произвести предприятиям-

потребителям в данном плановом периоде; l — индекс продукта; c_l — цена l -го вида продукта; x_{jl} — объем выпуска l -го продукта j -м предприятием-потребителем.

Ввиду того, что продукция, производимая предприятиями первой группы — предприятиями-поставщиками, является ресурсами для предприятий второй группы — предприятий-потребителей, необходимо выполнение следующего условия:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^K x_{ik} = \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L a_{kl} x_{jl},$$

где a_{kl} — количество единиц k -го ресурса производимого предприятия-поставщиками, идущее на производство единицы l -го продукта, производимого предприятиями-потребителями.

Определив таким образом минимальное необходимое количество продукции и структуру выпуска для предприятий-поставщиков и предприятий-потребителей, центральный планирующий орган доводит эти сведения до предприятий-поставщиков и предприятий-потребителей.

Исходя из полученных заданий, предприятия разрабатывают свои производственные программы. Однако ввиду того, что центральный планирующий орган не полностью информирован о производственных возможностях предприятий и в силу существующих или реально возможных методов планирования на народнохозяйственном уровне (от достигнутого, нормативного, балансового, минимизации затрат при заданной структуре потребления), а также в силу ряда других причин может получиться так (и реально получается), что предприятие может произвести фактическое количество продукции $V_i' > V_i$ (аналогично для потребителей $W_j' > W_j$). Зная об этом, центральный планирующий орган назначает $V_{\Pi i}$ — плановый объем производства для i -го предприятия так, что $V_{\Pi i} > V_i$, $W_{\Pi j} > W_j$, где $W_{\Pi j}$ — плановый объем производства для j -го предприятия. Следовательно, предприятие может выбрать структуру и объем некоторого дополнительного количества продукции, $v_i = V_{\Pi i} - V_i$ ($w_j = W_{\Pi j} - W_j$), так, чтобы оптимизировать некоторый свой показатель. В общем случае V_i' может быть больше $V_{\Pi i}$ (аналогично $W_j' > W_{\Pi j}$) и тогда предприятие может выпустить $v_i = V_i' - V_{\Pi i}$ и $v_i \geq V_{\Pi i} - V_i = w_j - w_j$ и $W_j' \geq W_{\Pi j}$, где v_i — дополнительный объем производства i -го предприятия сверх минимального необходимого выпуска заданной структуры и сверх планового задания по объему выпуска продукции.

Пусть в силу существующей системы стимулирования предприятие заинтересовано в максимизации полученной от производства дополнительной продукции прибыли.

Тогда целевая функция i -го предприятия-поставщика будет иметь вид:

$$\max P_i [x_k, c_k, s_k, \xi_{ki}(x_k)] = \sum_{k=1}^K [x_k (c_k - s_k) - \xi_{ki}(x_k)],$$

где s_k — себестоимость производства единицы минимального заданного объема продукции k -го вида; $\xi_{ki}(x_k)$ — затраты, связанные с производством x_k единиц продукции k -го вида на i -м предприятии-поставщике сверх заданного минимального объема. $\xi_{ki}(x_k)$ — величина, которая в общем случае является нелинейной (например, затраты могут возрастать по мере роста объема производства; кроме того, она может включать в себя затраты, связанные с переналадкой оборудования, ремонтом, увеличением коэффициента сменности и т.д.). Точного значения $\xi_{ki}(x_k)$ центральный планирующий орган не знает. В лучшем случае ему известно, в каких границах она лежит, т.е. $\xi_{ki}^{\min}(x_k) \leq \xi_{ki}(x_k) \leq \xi_{ki}^{\max}(x_k)$ или, что $\xi_{ki}(x_k) \in B$, где B — множество возможных значений затрат на производство x_k единиц продукции сверх заданного минимального объема производства.

Ограничения для i -го предприятия-поставщика будут иметь вид $c_k x_k \geq c_k x_{ki}^{\min}$, $\forall k \in K$;

$$\sum_{k=1}^K c_k x_k \geq V_{\Pi},$$

где $x_k^{\min}$ — минимальное необходимое количество k -го продукта, которое должно произвести i -е предприятие. Плюс ограничения по трудоемкости, фондоемкости, материалоемкости и т.д.

Аналогично формулируется задача для предприятий-потребителей с учетом ограничений на ресурсы, получаемые от предприятий-поставщиков сверх того объема, который нужен для производства минимального необходимого количества продукции заданной структуры.

Следовательно, предприятия-поставщики и предприятия-потребители независимо друг от друга и от центрального планирующего органа разрабатывают свои производственные программы выпуска продукции сверх минимального заданного объема, руководствуясь своими интересами и не учитывая интересов других предприятий и всего народного хозяйства.

Естественно, что центральный планирующий орган заинтересован в производстве такого объема и такой структуры дополнительной продукции, которые давали бы ему наибольший эффект по его критерию. Однако осуществить это директивными указаниями он не в состоянии, так как недостаточно информирован о максимальных производственных возможностях предприятий. Не может он осуществить управление и указывая желательную структуру выпуска, так как она может не соответствовать оптимальной структуре выпуска предприятий по критерию максимизации прибыли.

Однако зная критерии, которыми руководствуются предприятия, центральные планирующие органы могут стимулировать предприятия так использовать свои дополнительные возможности и так вступать во взаимодействие между собой, чтобы стремясь к достижению своих

собственных целей, они вместе с тем наилучшим образом удовлетворяли народнохозяйственные интересы.

Если центральный планирующий орган знает, что предприятия стремятся максимизировать свою прибыль, то он может оказывать нужное воздействие на них, стимулируя их с помощью дополнительных цен (наценок) на продукцию, выпускаемую сверх минимального необходимого уровня, вступать в производственные отношения между собой так, чтобы это было выгодно как поставщикам, так и потребителям и вместе с тем максимально выгодно всему народному хозяйству. Это могут быть дополнительные наценки (цены), устанавливаемые Центром как на продукцию, идущую из сферы производства в сферу потребления, так и наценки на продукцию, идущую от одного предприятия к другому.

Таким образом, устанавливая некоторую структуру цен, Центр стремится максимально удовлетворить потребности народного хозяйства. Вместе с тем он должен учитывать силу стимулирующего воздействия цен и объективные возможности и затраты предприятий. Кроме того, предприятия-потребители получают в свои руки инструмент, с помощью которого они смогут оказывать влияние на предприятия-поставщики и заинтересовывать их в производстве желательного объема и структуры нужной потребителям продукции.

Данная ситуация, в которой предприятия-поставщики, предприятия-потребители и центральный планирующий орган вступают во взаимодействие между собой, преследуя каждый свою цель, не совпадающую с целью других, но и не обязательно полностью противоположную им, можно формализовать в виде игры с непротивоположными интересами $(1 + n + m)$ лиц с правом первого хода у первого игрока [5], где n — количество предприятий-поставщиков, m — количество предприятий-потребителей, а первый игрок — это центральный планирующий орган, стремящийся организовать производственные отношения поставщиков и потребителей так, чтобы достичь наилучших народнохозяйственных результатов.

Задача центрального планирующего органа (первого игрока) заключается в нахождении таких дополнительных наценок (цен) на продукцию поставщиков и потребителей, которые позволят достичь наиболее желательного объема и структуры этой продукции для народного хозяйства, или найти дополнительные наценки, позволяющие минимизировать потери, которые несет народное хозяйство из-за несоответствия реальных объемов и структуры выпускаемой продукции с наиболее желательным.

Рассмотрим процедуру определения оптимальных наценок в иерархической системе, состоящей из центрального планирующего органа и двух предприятий: поставщика и потребителя. Эта простейшая ситуация может быть представлена как игра трех лиц с непротивоположными интересами с правом первого хода у первого игрока (Центра).

Второй игрок — это предприятие-поставщик. Он выпускает некоторую продукцию, которая может быть ресурсом для выпуска продукции третьим игроком — предприятием-потребителем. Третий игрок — предприятие-потребитель, выпускает продукцию, в получении которой заинтересован первый игрок (Центр) (в определенном объеме и определенной структуры). Пусть Центр знает, что второй игрок (предприятие-поставщик) стремится максимизировать свою прибыль.

То есть Центр знает, что целевая функция предприятия-поставщика имеет вид:

$$\max P_2 = \sum_{k=1}^K [x_k (c_k - s_k + c'_{kr}) - \xi_k(x_k)],$$

где P_2 — прибыль предприятия-поставщика от производства дополнительного объема продукции сверх заданного минимального уровня; x_k — объем выпуска k -го продукта; c_k — цена единицы k -го продукта; s_k — себестоимость производства единицы продукта k -го вида (плановая себестоимость); K — общее количество наименований продуктов предприятия-поставщика; k — индекс продукта предприятия-поставщика; c'_{kr} — r -й вариант наценки на k -й продукт предприятия-поставщика; $\xi_k(x_k)$ — затраты, связанные с производством x_k единиц продукции k -го вида сверх заданного минимального необходимого объема.

Решив задачу максимизации прибыли от производства дополнительного объема продукции сверх заданного минимального необходимого объема при существующих ограничениях на ресурсы, производственные мощности и т.д., предприятие-поставщик найдет оптимальные объемы продукции каждого вида, которые дают максимальную прибыль при заданных наценках c'_{kr} .

Пусть Центр знает зависимость выпуска продукции k -го вида от величины наценки на дополнительную продукцию c'_{kr} и $\xi_k(x_k)$ — затрат на производство x_k единиц продукции k -го вида:

$$x_k = f(c_{kr}, \xi_k(x_k)).$$

Аналогично, пусть Центр знает, что третий игрок (предприятие-потребитель) стремится найти:

$$\max P_3 = \sum_{l=1}^L [x_l (c_l + c'_l - s_l - \sum_{k=1}^K c'_{kr} a_{kl}) - \xi_l(x_l)]$$

$$\text{при условии} \quad \sum_{l=1}^L \sum_{k=1}^K a_{kl} x_l = \sum_{k=1}^K x_k,$$

где P_3 — прибыль предприятия-потребителя от производства дополнительного объема продукции сверх минимального необходимого уровня;

x_l — объем выпуска l -го продукта предприятием-потребителем; c_l — цена единицы l -го продукта; s_l — себестоимость производства единицы продукта l -го вида; L — общее количество наименований продуктов предприятия-потребителя; l — индекс продукта предприятия-потребителя; c'_l — t -й вариант наценки на l -й продукт предприятия-потребителя; $\xi_l(x_l)$ — затраты, связанные с производством x_l единиц продукции l -го вида сверх заданного минимального необходимого объема; a_{kl} — количество k -го продукта, производимого предприятием-поставщиком, идущее на производство единицы l -го продукта, производимого предприятием-потребителем.

Решив задачу максимизации прибыли от производства дополнительного объема продукции сверх заданного минимального необходимого уровня при существующих ограничениях на ресурсы, производственные мощности и т.д., при ограничении на продукцию, поставляемую предприятием-поставщиком, и при c'_{kr} значении наценки на его продукцию, предприятие-потребитель найдет оптимальные объемы продукции каждого вида, которые дают максимальную прибыль при заданных наценках c'_{kr} и c'_l .

Пусть Центр знает зависимость выпуска продукции l -го вида от величин наценок на дополнительную продукцию c'_{kr} и c'_l и $\xi_l(x_l)$:

$$x_l = \varphi(c'_{kr}, c'_l, \xi_l(x_l)).$$

Но так как производство продукции предприятием-потребителем зависит не только от его производственных возможностей и прибыльности производства этой продукции, но и от его обеспеченности продукцией, поставляемой предприятием-поставщиком, то:

$$x_l = \varphi(c'_{kr}, c'_l, \xi_l(x_l), x_k),$$

или

$$x_l = \varphi(c'_{kr}, c'_l, \xi_l(x_l), f(c'_{kr}, \xi_k(x_k))).$$

Потребность Центра в продукции l -го вида — $A_l \cdot R_l (A_l - x_l)$ — потери, которые несет Центр от недопроизводства $A_l - x_l$ единиц продукции l -го вида. Тогда $R = \sum_{l=1}^L R_l$ и задача Центра состоит в том, чтобы найти $\min R$ при условии, что:

$$c_l + c'_l + \sum_{k=1}^K c'_{kr} a_{kl} \leq c_l - b_l,$$

где c'_l — цена, по которой Центр реализует продукцию l -го вида; b_l — издержки, связанные с реализацией. Это ограничение гарантирует Центру, что продукция l -го вида не будет для него убыточной.

Как отмечалось выше, Центр не знает истинного значения $\xi_k(x_k)$ и $\xi_l(x_l)$. Он знает, что $\xi_k(x_k) \in B_k, \xi_l(x_l) \in B_l$,

где B_k — множество возможных значений затрат $\xi_k(x_k)$; B_l — множество возможных значений затрат $\xi_l(x_l)$.

В данной ситуации Центр должен воспользоваться принципом гарантированного результата [5], т.е. найти такие значения c'_{kr} и c'_{lr} , чтобы достигалось

$$\min_{(c'_{kr}, c'_{lr} \in C)} \max_{\xi_k(x_k) \in B_k} \max_{\xi_l(x_l) \in B_l} R(\varphi(c'_{lr}, c'_{kr}, \xi_l(x_l)), f(c'_{kr}, \xi_k(x_k)))$$

где C — множество возможных значений наценок на дополнительную продукцию.

Предложенный выше подход позволяет стимулировать предприятия с целью ускорения производства и реализации приоритетной по некоторому критерию продукции. Он может быть реализован как на народнохозяйственном уровне (в редких случаях), так и в рамках крупных производственных объединений. В последнем случае это будет соответствовать практике организации внутрифирменных взаимоотношений между отдельными подразделениями крупной фирмы в рыночной экономике, где центральное правление фирмы (Центр) перераспределяет часть прибыли через наценки с целью синхронизации взаимодействия между отделениями-поставщиками и отделениями-потребителями (внутрифирменными), работающими непосредственно на внешний рынок.

Данный подход можно использовать и для согласования социальных механизмов развития экономики. На уровне некоторой производственной единицы (предприятия, объединения, цеха) на основании анализа экономической заинтересованности, престижных соображений, групповых интересов, реального распределения власти можно определить некоторые коэффициенты передачи части благ, получаемых одной подсистемой данной системы, другим для успешной реализации общесистемных целей. Такие блага могут быть не только экономическими, но и социальными. Перераспределение власти в системе (увеличение самостоятельности отдельных подсистем), более полный учет интересов различных групп работников, повышение престижа, увеличение самостоятельности в формировании структуры своего свободного времени (гибкий график работы, занятость неполный рабочий день, варьирование сменами) и другие социальные факторы могут оказывать не меньшее, чем денежная заинтересованность, влияние на эффективное функционирование некоторой производственной системы.

Близкой к теории информационных иерархических систем управления и теории игр с непротивоположными интересами является теория активных систем [21; 22]. Теория активных систем оперирует такими понятиями, как "активный элемент", "активная система", "организационная система". Активной называется система, в которой объектами управления являются активные элементы. Активным элементом яв-

ляется элемент системы, обладающий целенаправленным поведением. Под организацией понимается объект, включающий отдельных людей и целые коллективы в качестве активных элементов системы. Организационной системой является система, организующая деятельность коллективов людей для достижения общесистемных целей. Под активностью подразумевается присущее человеку свойство предвидения управляющих воздействий со стороны управляющего органа, поведения других активных элементов системы и выработки своего поведения, направленного на достижение определенных целей, с учетом этого поведения и управляющих воздействий.

Основной задачей теории активных систем является разработка методов описания, исследования и математического моделирования организаций и способов их функционирования, как совокупности активных элементов. При этом конечным результатом такого исследования провозглашается разработка рекомендаций по совершенствованию организационных систем. Поэтому прикладными задачами теории активных систем являются улучшение хозяйственного механизма и отдельных его элементов, совершенствование систем стимулирования, процедур планирования, способов организации соревнования, повышение эффективности оперативного управления, разработка организационных, правовых, экономических, финансовых мероприятий, способных улучшить функционирование социально-экономических систем.

Данный подход применительно к социально-экономическим процессам изложен в работах [33; 34], посвященных вопросам исследования динамики поведения трудовых ресурсов в активных системах и способам управления ими. Причем, как отмечается в [33], учет "текущей кадры", другими словами, учет поведенческого элемента в описании функционирования трудовых ресурсов в экономических системах, дает существенно иные результаты по сравнению с традиционными экономическими моделями. Перемещение трудовых ресурсов между предприятиями описывается как процесс, интенсивность которого зависит от "потенциала привлекательности" предприятий, а он, в свою очередь, зависит от величины материального поощрения и величины, характеризующей "тяжесть труда" для работников одной профессии и квалификации. В [33] делается вывод, что "... одновременное решение задач установления планового распределения трудовых ресурсов и оптимизации плановых заданий невозможно, по крайней мере, в рамках рассмотренных моделей."

4. ИНТЕРЕСЫ КОЛЛЕКТИВОВ И СИНХРОНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Под синхронизацией производственной деятельности понимается согласование сроков, объемов и структуры производства, реализации и потребления продукции на различных уровнях народного хозяйст-

ва [23]. Успешное решение задач синхронизации должно способствовать росту эффективности народного хозяйства, повышению надежности выполнения планов, снижению потерь от дефицита материальных ресурсов, а также рациональному использованию трудовых и финансовых ресурсов.

Использование вычислительной техники, создание гибких автоматизированных производств ведет к ускорению производственного цикла. Становясь более динамичным, производство вызывает изменения и в характере материально-технического снабжения и сбыта. Поэтому при создании АСУ различных уровней необходимо разрабатывать единую интегрированную систему управления материальными потоками, основывающуюся на системе моделей синхронизации и включающую планирование и контроль за использованием всей номенклатуры сырья, материалов и полуфабрикатов, которые движутся от поставщиков, поступают в производственные подразделения и, превращаясь в готовые изделия, доводятся до потребителей через систему сбыта, так как "... задействовать на полную мощность производящее оборудование можно только после решения задачи синхронизации производства и потребления, материально-технического снабжения, подготовки производства" [24].

Целью моделирования синхронизации производственной деятельности является обеспечение оптимального взаимодействия между поставщиками, потребителями и другими элементами системы, принимающими участие в процессе продуктодвижения, при котором в пределах существующих экономических, организационных и ресурсных ограничений достигается минимум совокупных потерь.

В процессе производства продукции предприятия вступают в сложные производственные отношения между собой. Каждое предприятие является потребителем продукции других предприятий, необходимой ему для производства своей продукции. Количество предприятий-поставщиков и предприятий-потребителей для данного предприятия, а также ассортимент поставляемой продукции может быть весьма значительным. Одновременно его предприятия-поставщики являются потребителями продукции других предприятий, а предприятия-потребители продукции данного предприятия, в свою очередь, являются поставщиками для других предприятий. Цепочки, состоящие из поставщиков и потребителей, формируют сложную, в общем случае замкнутую, систему с большим числом элементов. Количество видов сырья и продукции, находящейся ежегодно в процессе движения между предприятиями, превышает 2×10^7 , а количество хозяйственных связей между предприятиями достигает 10^9 . Система представляется еще более сложной, если учесть функционирование транспорта, органов материально-технического снабжения (МТС), финансовых органов, которые непосредственно не участвуют в производстве продукции, но являются весьма важными элементами рассматриваемой производ-

ственной системы, так как обеспечивают взаимодействие между предприятиями-поставщиками и предприятиями-потребителями в процессе производства продукции.

От того, насколько хорошо взаимодействуют между собой предприятия, насколько синхронно, планомерно, непрерывно идет процесс производства продукции, зависит конечная экономическая эффективность функционирования народного хозяйства в целом. Как отмечалось в [25], "в современной экономике, благодаря развитию процессов специализации и кооперации резко возрастает взаимозависимость предприятий и целых отраслей промышленности. Неполная или несвоевременная поставка какого-либо продукта может во многих случаях приводить к своеобразной цепной реакции недопоставок и связанных с ними потерь". Возникающие потери оказывают существенное влияние на развитие экономики и темпы роста национального дохода. По оценке, приведенной в [26], темпы роста национального дохода можно увеличить почти в два раза, если ликвидировать срывы в материально-техническом обеспечении производства.

Аналогичная оценка получилась и в результате расчетов, проведенных в ИЭП АН УССР [27]. Причем с ростом специализации и усилением концентрации, развитием и усложнением экономической системы, количественным ростом и качественным усложнением производственных связей и усилением зависимости эффективного функционирования предприятий от эффективного взаимодействия между ними и поставщиками и потребителями их продукции, потери для всего народного хозяйства от каждого случая рассинхронизации будут возрастать. Следовательно, успешное решение проблем, связанных с эффективным взаимодействием между предприятиями, обеспечит народному хозяйству значительный экономический эффект без существенных дополнительных капиталовложений.

Задачи синхронизации можно, следуя [28], рассматривать на двух уровнях: на макроуровне — это задачи построения межотраслевых моделей сбалансированного развития народного хозяйства, на микроуровне — это задачи построения таких моделей взаимодействия между предприятиями, рассматриваемыми одновременно как поставщики и потребители, органами материально-технического снабжения, транспортом и другими элементами системы, обеспечивающей взаимодействие между предприятиями, которые позволяли бы планировать их совместную хозяйственную деятельность оптимально с точки зрения народного хозяйства и обеспечивали бы эффективный механизм разработки и выполнения планов по ассортименту продукции, срокам и объемам поставок, комплектности, а также задачи разработки мер, повышающих надежность системы и минимизирующих общие потери в случае рассинхронизации.

Ниже рассматриваются задачи синхронизации на микроуровне. Проблемы синхронизации являются естественным следствием разделения труда и специализации производства. Среди основных

причин несинхронного взаимодействия необходимо отметить следующие: перебои в процессе производства, перебои в функционировании транспортной системы и органов материально-технического снабжения и сбыта, недостаточная согласованность элементов производственной и снабженческо-сбытовой систем с транспортной системой и между собой, недостаточная согласованность, взаимоувязанность планов производства, транспортировки, снабжения и сбыта, слабая координация между поставщиками и потребителями, неясность целей, недостаточная информированность и гибкость, противоречие целей внутри организаций между их отдельными подразделениями. Причем причиной перебоев в процессе производства и снабжения является не столько дефицитность ресурсов как таковая, сколько "временная дефицитность", возникающая для отдельных видов ресурсов на различных уровнях народнохозяйственной иерархии в конкретные плановые периоды. Неудовлетворительное решение задач синхронизации может привести к реальному дефициту ресурсов в последующие плановые периоды [25].

На современном этапе развития экономики проблемы синхронизации обостряются, так как происходит ускорение производственного цикла, сокращение сроков производства готовой продукции. Становясь более динамичным, производство вызывает серьезные изменения и в характере материального снабжения. Происходит постоянное изменение ассортимента закупаемых материалов, что ведет к увеличению затрат, необходимых для снабжения. Меняется соотношение между производственными расходами и расходами по снабжению и сбыту в общей стоимости продукции за счет абсолютного и относительного роста расходов по реализации и снабжению в расчете на единицу продукции.

Перспективным представляется подход, связанный с управлением потоком материальных ресурсов, проходящим через некоторую экономическую систему, согласованием снабжения, производства, сбыта и перевозок в ней, синхронизацией функционирования ее элементов, рассматриваемых одновременно как поставщики изделий другим элементам и потребители продукции других элементов данной экономической системы, что связано с рядом факторов, характеризующих современное состояние экономики. Этими факторами являются: рост затрат, связанных с использованием материальных ресурсов, что вынуждает обращать больше внимания на эффективность их использования; усложнение производственного процесса; увеличение зависимости каждого предприятия от других предприятий, связанных с ним отношениями "поставщики-потребители", что требует большой координации их совместной деятельности; ускорение производственного цикла; увеличение гибкости производственных систем в ответ на изменение "внешней среды", что позволяет оперативно реагировать на изменения в поставках и заказах потребителей путем перераспределения

ресурсов внутри системы; укрупнение производственных систем, что позволяет маневрировать значительными материальными ресурсами с целью получения максимального эффекта; внедрение вычислительной техники, математических методов, автоматизированных систем управления в практику планирования и управления, что позволяет оперировать значительными массивами информации, получать целостную картину состояния экономической системы и принимать обоснованные решения.

При данном подходе задача синхронизации сводится к созданию системы контроля, планирования, прогнозирования и управления ресурсами, идущими через производственную систему. Основным ее элементом должна стать система динамических моделей производства, снабжения, сбыта и перевозок. Динамический характер системы объясняется тем, что фактор времени в задачах синхронизации играет ведущую роль. Производство, снабжение и сбыт представляются как движение различных потоков сырья, полуфабрикатов, готовых изделий, а процесс управления заключается в их синхронизации по некоторому критерию и превращению в единый материальный поток, идущий через данную экономическую систему с максимальной для нее пользой [23].

Целесообразным представляется рассмотрение задач синхронизации как задач краткосрочного планирования (внутри полугодия, месяца и, особенно, квартала).

Задачи синхронизации можно рассматривать на различных уровнях управления народным хозяйством. На уровне предприятия возникают задачи синхронизации производственных программ цехов, синхронизации основного и вспомогательного производств, синхронизации взаимодействия предприятия с его поставщиками и потребителями. На уровне производственного объединения добавляются задачи синхронизации функционирования предприятий, входящих в объединение. Одновременно возникают дополнительные возможности в синхронизации взаимодействия объединения с его потребителями и поставщиками, так как объединение располагает возможностью оперировать более значительными и разнообразными ресурсами. На региональном уровне задача синхронизации состоит в согласовании планов производства, перевозок, снабжения и сбыта предприятий данного региона.

Ввиду многоуровневого характера организации народного хозяйства и различной ведомственной подчиненности его элементов, в моделях синхронизации должна быть отражена степень информированности различных элементов системы о поведении других.

Так как задачу согласования краткосрочных планов предприятий на уровне всего народного хозяйства решить невозможно из-за огромного объема информации, который необходимо собрать и обработать в короткие сроки, для решения задач синхронизации существенную роль играет региональный уровень, на котором можно, с одной стороны, оперировать достаточной для принятия решений информацией

и материальными ресурсами, а с другой — принимать решения и доводить их до нижестоящих организаций в приемлемые сроки.

На региональном уровне задача синхронизации рассматривается как задача оптимального распределения ресурсов между предприятиями региона, определения сроков и объемов производства на каждом предприятии, объемов и сроков перевозок и поставок сырья и полуфабрикатов для дальнейшего производства продукции внутри региона и вывоза в другие регионы. Нижним уровнем рассматриваемой системы является множество предприятий экономического района, а верхним "Центр", выражающий на региональном уровне "интересы" всего народного хозяйства.

Модель "Центра" описывается как динамическая производственно-транспортная задача. Динамика системы описывается разностными уравнениями изменения текущих объемов ресурсов и вновь произведенной продукции на предприятиях экономического района и у "Центра". Снабжение осуществляется не отдельными ресурсами, а комплектами ресурсов. Задача состоит в минимизации затрат на хранение, транспортировку, погрузочно-разгрузочные работы при заданных ограничениях на транзитные нормы, площади складов, размеры страховых запасов, выполнение квартальных планов производства на предприятиях, поставок предприятиям экономического района и вывоза в другие районы, затраты производственных факторов на предприятиях. Таким образом, задача сводится к тому, чтобы путем распределения комплектов ресурсов внутри региона добиться выполнения квартальных планов.

Если при данном уровне производства и снабжения они оказываются невыполнимыми, то вводятся коэффициенты взаимозаменяемости одних ресурсов другими. Если и при этом планы выполнить нельзя, то задача решается без ограничений на квартальные планы поставок или их наименее приоритетной части и минимизируются совокупные потери, состоящие из затрат на транспортировку, погрузочно-разгрузочные работы, хранение и потерь от дефицита. Можно рассмотреть несколько способов учета потерь от дефицита. Простейший состоит в том, чтобы учитывать как потери от дефицита весь объем недопроизведенной продукции или недопоставленной в другие регионы.

Сложность реализации данного подхода состоит в том, что на региональном уровне не существует органа, способного непосредственно влиять на текущие планы производства предприятий данного региона. Функции такого органа могут выполнять хозяйственные органы небольших союзных республик или крупных городов, являющихся "каркасом", на котором строится пространственное размещение производства.

Данный подход можно реализовать в рамках существующей системы планирования, используя в качестве синхронизирующих органов территориальное управления материально-технического снабжения, которые на основании информации об объемах поступающей продук-

ции, ресурсов, остатков за прошлый период, запасов, норм расхода, квартальных заказов должны сформировать комплекты продукции и определить сроки их отгрузки для снабжения предприятий данного экономического района и вывоза в другие районы, тем самым оказывая сглаживающее влияние на случайные материальные потоки внутри квартала.

Несмотря на то, что территориальные управления МТС не могут непосредственно влиять на разработку и реализацию планов производства промышленных предприятий, сфера их деятельности, как правило, совпадает с территорией экономического района, они управляют поставками большинству предприятий района и могут косвенно, при помощи поставок, влиять на производство продукции в экономическом районе.

При определенных предположениях о способе организации поставок, план, оптимальный по критерию максимизации продуктооборота территориального управления МТС, минимизирует также и потери от дефицита в экономическом районе. Эти предположения состоят в том, что рассматриваются только те ресурсы, снабжение которыми осуществляется через Главтерснаб, и вся произведенная в плановом периоде продукция учитывается в его продуктообороте. Рассматриваются только предприятия данного экономического района, все поставки от предприятий других экономических районов учитываются как внешний ввоз с заданной интенсивностью поступления и структурой. Продукция, произведенная в данном районе, делится на две части: конечную продукцию (которая в данном плановом периоде вывозится в другие экономические районы или потребляется в данном экономическом районе, но в последующие плановые периоды) и полуфабрикаты (т.е. продукция, которая производится в данном плановом периоде и в этом же периоде потребляется другими предприятиями данного района).

Такое деление позволяет при распределении ресурсов учитывать, что поставка ресурсов в первую очередь на производство тех изделий, которые будут в данном плановом периоде использоваться для производства новых изделий, будет способствовать росту продуктооборота. Снабжение осуществляется не отдельными ресурсами, а их комплектами, необходимыми для производства изделий. Каждому комплекту ресурсов соответствует только один вид изделий. Весь плановый период (квартал) делится на подпериоды (декады или пятидневки). Задача состоит в том, чтобы найти такие объемы поставок комплектов ресурсов каждому предприятию района для производства конечной продукции и полуфабрикатов в каждом подпериоде, чтобы суммарный продуктооборот Главтерснаба за весь плановый период был максимальным.

Возможны случаи, когда вновь выпущенные полуфабрикаты в том же плановом периоде используются для производства других по-

луфабрикатов. Однако среднее время оборачиваемости по территориальным управлениям МТС близко к половине квартала.

Критерий максимизации продуктооборота не совпадает с критерием минимизации совокупных потерь в экономическом районе, изложенном выше, но с учетом формирования комплектов ресурсов, одновременного распределения ресурсов на производство полуфабрикатов и конечной продукции и учета интенсивности их производства, он также минимизирует потери от дефицита. Затраты на хранение и транспортировку менее значительны, чем потери от дефицита, и могут быть учтены в ограничениях.

Степень информированности Главтерснаба о характере и интенсивности использования ресурсов предприятиями может быть различной. Если известны точные зависимости объемов выпуска от объемов поставок, то используется детерминированная динамическая модель. Если информация носит вероятностный характер, то используется стохастическая динамическая модель. Если конкретный вид зависимостей объема выпуска от объемов поставок не известен, но известно множество возможных зависимостей в каждом интервале планового периода, то используется динамическая игровая модель. Каждый из названных случаев может иметь место одновременно. Поэтому необходимо использовать комплекс моделей синхронизации, каждая из которых должна выбираться в зависимости от характера информации о способах поведения предприятий.

Важной задачей является синхронизация функционирования промышленных объединений, выпускающих товары народного потребления и органов торговли. Для производственного объединения задача состоит в том, чтобы так распределить между входящими в него предприятиями поток материальных ресурсов, чтобы выполнить квартальные планы по производству и реализации, и максимально удовлетворить текущие запросы торговли, т.е. минимизировать среднеквадратические отклонения сроков и объемов производства каждого вида товаров от заказанных торговлей. Для планирующих органов торговли задача состоит в том, чтобы определить оптимальные заявки на объемы и сроки поставок товаров внутри квартала от каждого предприятия с учетом объемов текущих запасов на складе и ожидаемого спроса на эти товары. Анализ спроса производится на основе данных о реализации в предыдущих интервалах. Критерием оптимальности является минимизация суммарных потерь от дефицита, содержания сверхнормативных запасов, уценки, возрастания платы процента за кредит.

Важной представляется задача синхронизации материальных, трудовых и финансовых ресурсов. Эффективность использования трудовых ресурсов существенно зависит от эффективности управления материальными ресурсами. Значительная часть потерь рабочего времени вызвана перебоями в снабжении, нехваткой материальных ресурсов.

Негативно сказывается на состоянии трудовых ресурсов также дефицит потребительских товаров. Одновременно недопроизводство материальных ресурсов может вызываться нехваткой трудовых ресурсов. Здесь наблюдается своеобразная цепная реакция.

Представляется целесообразным региональное планирование синхронизации материальных, трудовых и финансовых ресурсов и распределения капиталовложений на развитие производства, производственной и непроизводственной инфраструктуры, подготовки кадров на основе систем динамических моделей с учетом различной степени информированности. Для синхронизации финансовых ресурсов с другими необходимо прежде всего упорядочить систему платежей по безличному расчету и усилить роль финансовых органов в оценке и контроле деятельности предприятий. Синхронизация материальных, трудовых и финансовых потоков на региональном уровне позволит объединить задачи синхронизации на макроуровне и микроуровне.

Предложенный подход можно использовать как при жестком прикреплении поставщиков к потребителям, так и при оптовой торговле. В последнем случае создаются реальные предпосылки для реализации предложенного подхода, так как территориальные органы МТС будут заинтересованы в том, чтобы максимально удовлетворять заявки потребителей, эффективно организуя процесс товародвижения в регионе с целью получения максимальной прибыли. Территориальные органы МТС при оптовой торговле будут соответствовать крупным товаро-распределительным складам-фирмам в рыночной экономике и вынуждены будут проводить активную маркетинговую политику. Одним из важнейших компонентов этой политики будет организация производства и товародвижения между множеством мелких, средних, а возможно, и крупных предприятий, расположенных на данной территории. Обслуживание должно осуществляться на добровольных основах, возможно путем кооперирования средств и распределения ответственности между органами МТС, предприятиями и местными административными органами.

Часто встречается случай, когда приходится принимать решения о распределении некоторого ресурса между предприятиями в условиях неопределенности [23]. Неопределенность может вызываться как невозможностью получить полную информацию о состоянии предприятия в некотором интервале t , так и незнанием наиболее выгодного данному предприятию способа использования ресурсов.

В случае детерминированной и стохастической постановки задачи распределения ресурсов предполагается, что территориальные органы материально-технического снабжения формируют комплекты ресурсов с целью наиболее эффективного их использования, а предприятия после получения этих комплектов сразу начинают производить из них продукцию, для выпуска которой эти комплекты предназначались. Таким образом, предполагалось совпадение интересов и возможностей орга-

нов МТС по поставкам комплектов ресурсов и предприятий по их производственному потреблению.

Однако вполне возможен случай, когда предприятию оказывается выгоднее для выполнения своего плана из поставленных в комплектах ресурсов создать комплекты для производства другой продукции. В такой ситуации органы МТС не могут знать ни точной зависимости выпуска от поставок, ни ее вероятностных характеристик. Их информированность сводится к тому, что они знают, что $0 \leq y_{ip}(x_{ip}(t), t) \leq A_{ip}^{\max}(t)$, где $A_{ip}^{\max}(t)$ — максимально возможный объем выпуска p -го полуфабриката на i -м предприятии в t -м плановом подпериоде.

В таком случае территориальные органы должны принимать решения о распределении ресурсов в условиях неопределенности. Данная ситуация может быть формализована в виде динамической игры $(I + 1)$ -го лица. Здесь первый игрок — это территориальные органы МТС, а остальные игроки — предприятия.

Задача органов МТС — так распределить ресурсы по комплектам для каждого предприятия, чтобы максимизировать свой товарооборот. Ввиду того, что интересы предприятий никак не зависят от интересов территориальных органов МТС (органы МТС не могут непосредственно поощрять или наказывать предприятия за ту или иную последовательность использования ресурсов внутри квартала, если квартальный план производства будет выполнен) и органы МТС не знают последовательности выполнения квартального плана на каждом предприятии, они не знают и последовательности поступления произведенной продукции на базы и склады МТС. Следовательно, они не могут сформулировать цели предприятий по последовательности выполнения планов.

Такая ситуация формализуется игрой с "природой", где "природа" выражает объединенное поведение предприятий. В играх с "природой" возможен выбор различных критериев поведения в зависимости от способа оценки поведения "природы". В данном случае целесообразным представляется использовать гарантирующую стратегию (максиминную) органов МТС:

$$\max_{x_{ip}(t), x_{ik}(t)} \min_{y_{ip}(t)} \sum_{t=0}^{T-1} \sum_{i=1}^I \left(\sum_{p=1}^P c_p y_{ip}(x_{ip}(t), t) + \sum_{k=1}^K c_k x_{ik}(t) \right)$$

Динамика системы описывается следующей системой уравнений

$$N_r(t+1) = N_r(t) + u_r(t) - \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K a_{pr} x_{ik}(t);$$

$$N_p(t+1) = \begin{cases} N_p(t) + u_p(t) - \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K a_{kp} x_{ik}(t), & \text{если } t < \theta; \\ N_p(t) + u_p(t) + \sum_{i=1}^I y_{ip}(x_{ip}(t-\theta), t) - \\ - \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K x_{ik}(t), & \text{если } t \geq \theta, \end{cases}$$

$$N_r(0) = N_{r0}; \quad N_p(0) = N_{p0}.$$

Допустимые стратегии подчиняются следующим ограничениям:

$$x_{ip}(t) \in X_{ip}(t); \quad x_{ik}(t) \in X_{ik}(t); \quad y_{ip}(t) \in Y_{ip}(t).$$

Задача территориальных органов так распределить ограниченные ресурсы, чтобы добиться максимизации продуктооборота в плановом периоде.

Гарантирующая стратегия (максиминная) является правилом поведения игрока, когда его информация ограничена только знанием системы уравнений, описывающих динамику игры, множества стратегий игроков и "своего функционала" (23).

Приведенная выше игра сводится к игре двух лиц первого — территориальных органов МТС и второго — "природы", выражающей объединенное поведение всех предприятий. Здесь $x_{ip}(t)$, $x_{ik}(t)$ — объемы поставок i -му предприятию p -го комплекта ресурсов для производства полуфабрикатов p -го вида (k -го комплекта ресурсов для производства конечного изделия k -го вида) в t -ом плановом подпериоде; c_p , c_k — цена ресурсов, входящих в единицу p -го (k -го) комплекта; $N_r(t)$, $N_p(t)$ — объемы текущих запасов r -го ресурса (p -го полуфабриката) в t -м плановом периоде; N_{r0} , N_{p0} — начальные запасы; a_{pr} — количество ресурса r -го вида, входящее в единицу комплекта p -го вида; a_{kp} — количество полуфабриката p -го вида, входящее в единицу комплекта k -го вида; θ — среднее время оборачиваемости; $y_{ip}(x_{ip}(t), t)$ — объем выпуска в t -м интервале на i -м предприятии полуфабриката p -го вида, при условии, что для его производства было поставлено $x_{ip}(t)$ единиц комплектов ресурсов.

При моделировании синхронизации взаимодействия экономических подсистем (а тем более социальных подсистем), как и при разработке и внедрении конкретных процедур синхронизации производства, необходимо учитывать важнейшее для целей синхронизации значение человеческого фактора. На любом уровне социальной и экономической иерархии необходимо учитывать поведение активных подсистем, каковыми являются трудовые коллективы и отдельные исполнители, действующие по правилам, разработанным вышестоящими органами, но преследующие свои интересы. Если эти правила не стимулируют творческую активность, самоотдачу работников, пытаясь согласовать

личные и общественные интересы, то они препятствуют оптимальному функционированию системы в целом. Вместе с тем для разработки оптимальных правил согласования интересов недостаточно использовать только экономические, математические понятия. Необходимо привлекать для этого социологию, юридические науки, психологию, так как социальный аспект такого согласования имеет важнейшее значение.

Рассмотрим этот вопрос на примере системы оценки, стимулирования договорных обязательств и возможности ее использования для целей синхронизации.

В работах [27; 28] проведен анализ соответствующей системы оценки и стимулирования выполнения договорных обязательств предприятиями и возможности ее применения для моделирования взаимодействия в системе "поставщики-потребители".

В [28] рассматриваются три способа экономического воздействия на предприятие с целью обеспечения выпуска необходимого потребителю ассортимента, соответствующие трем основным экономическим параметрам управления (оценочные показатели, нормативы распределения прибыли, цены).

Первый способ — это использование фондообразующего показателя "Объем реализуемой продукции в оптовых ценах предприятия, принятых в плане, с учетом выполнения заданий и обязательств по поставкам продукции производственно-технического назначения". Его использование должно приводить к такой корректировке оценочных показателей работы предприятий, при которой не учитываются никакие результаты, полученные за счет нарушения запланированного ассортимента. Сфера действия этого показателя распространяется на такие нарушения условий договора, как недопоставка (просрочка поставки) и безнарядная отгрузка продукции [27]. Как отмечается в [28], использование этого показателя для оценки работы предприятий не получило широкого распространения, так как он не учитывает реальное положение, допускающее для отраслей-потребителей некоторое отклонение от утвержденной номенклатуры поставок без существенных потерь. В этой системе отсутствует связь между стимулом (санкцией) и экономическим эффектом производства и потребления ассортиментного набора.

Второй способ стимулирования выполнения плана по номенклатуре и срокам поставок, согласно [28], — это система штрафов и неустоек. Его недостатком является отсутствие четкой взаимосвязи между размерами экономического ущерба у потребителя и уровнем штрафов. Штрафные санкции почти не влияют на экономическое положение производителей. Кроме того, в условиях острого дефицита ряда сырьевых материалов и комплектующих узлов, полученные потребителями в результате выплаты поставщиками штрафов и неустоек финансовые

средства нельзя использовать для приобретения недостающих материальных ресурсов.

В работе [27] отмечается, что ныне действующий механизм материальной ответственности не способен формировать у производственных коллективов и отдельных работников устойчивый интерес к соблюдению договорных обязательств. Действие мер материальной ответственности в цепочке "объединение — производственная единица — структурное подразделение — работник" не является сквозным и не увязано с системой оценки результатов деятельности этих звеньев и, соответственно, с системой их материального поощрения. При таких условиях оказывается невозможным целенаправленно воздействовать при помощи санкций как на экономические интересы производственных коллективов, так и на интересы и мотивацию отдельных работников.

В [27] отмечаются и недостатки существующих схем трансформации санкций до внутренних подразделений. К их числу относится и экономическая необоснованность размеров стимулирующего воздействия. В одних случаях размер уменьшения поощрительного фонда поставлен в прямо пропорциональную зависимость от суммы уплаченных санкций, в других — основанием уменьшения премии является не сумма уплаченных санкций, а сам факт их уплаты, в третьих — воздействие санкций на поощрительные фонды оказывается опосредованно путем корректировки оценочных показателей. Соответственно, влияние санкций на экономические интересы подразделений-нарушителей в одних случаях является чрезмерным, в других стабильным, не зависящим от объема нарушения или размера уплаченных санкций, в третьих, незначительным. В любой из названных ситуаций они теряют свое стимулирующее значение, так как их воздействие на экономические интересы подразделений в значительной мере становится неуправляемым процессом.

Кроме того, не обеспечивается увязка санкций с мерами материального поощрения и последовательное проведение принципа неотвратимости ответственности внутренних звеньев и отдельных работников. Даже когда конкретное лицо привлекается к материальной ответственности, сохраняется реальная возможность существенно уменьшить ее дисциплинирующее воздействие. В настоящее время на предприятиях может применяться одновременно свыше 30 различных специальных премий. При таком положении работник, лишенный премии из фонда материального поощрения, может получить ее в том же расчетном периоде (даже в больших размерах) из других источников премирования.

На основании приведенных выше соображений в работе [27] делается вывод, что сложившийся ныне механизм материальной ответственности не позволяет должным образом управлять иерархией мате-

риальных интересов в направлении устранения внутренних причин и условий невыполнения заданий и обязательств по поставкам продукции.

Отметим, что в существующих условиях предприятия-потребители не всегда прибегают к системе санкций, не желая портить отношения с поставщиками и зная, что полной компенсации по всем показателям своей деятельности они не добьются. Кроме того, цепная реакция недопоставок продукции может вызвать и цепную реакцию санкций. В конечном итоге большинство нарушителей, если не все, компенсируют потери, связанные с выплатой неустоек потребителям, за счет своих поставщиков.

Вообще в социалистическом плановом хозяйстве компенсационная функция санкций незначительна. Как отмечается в [27], в силу единства государственной собственности компенсация убытка по всей массе прибыли одним хозорганом за счет средств другого не покрывает ущерба, нанесенного народному хозяйству в целом. Уменьшение единого фонда государственной собственности в одном звене народного хозяйства несколько не восполняется изъятием имущества или денежных средств в другом.

Поэтому в [27] предлагается исходить из стимулирующей, а не компенсационной функции санкций. Задачу обоснования стимулирующих размеров санкций предлагается решать путем унификации оценки выполнения предприятиями показателей плана и обязательств по поставкам. Там же отмечается, что при определении и обосновании размеров санкций необходимо принять во внимание, что поощрительные фонды не могут быть использованы исключительно для стимулирования надлежащего выполнения договорных обязательств. Отсюда возникает необходимость обеспечения внутреннего согласования стимулирующих воздействий за выполнение показателей плана производства и за выполнение договорных обязательств. Отметим, что это, по сути дела, соизмерение важности показателей объема реализации и объема выполнения плана производства.

В работе [29] рассматривается возможность математического моделирования размеров санкций. Однако, как отмечают авторы, математический аппарат здесь может быть только вспомогательным средством. Проблемы соизмерения различных показателей деятельности предприятий остаются.

Поэтому представляется нецелесообразным при моделировании оптимального взаимодействия поставщиков и потребителей использовать как основной управляющий параметр и санкции, и показатели объема реализации ввиду невозможности соизмерить их влияние на производственную деятельность предприятий с влиянием других оценочных показателей этой деятельности, а, следовательно, построить модели поведения системы "поставщики — потребители", адекватные реальной действительности.

Третий способ стимулирования выполнения плана по номенклатуре и срокам поставок, согласно [28], предусматривает использование системы оптовых цен. Его целью является: с помощью цен создать условия равновыгодности выпуска всех изделий ассортимента набора. Тогда отпадает вопрос о "выгодном" или "невыгодном" ассортименте и предприятие будет четко придерживаться плановых заданий. Цены могут также использоваться для стимулирования прогрессивных структурных сдвигов в ассортименте и повышения качества продукции. Однако маневрирование ценами в ряде случаев не может привести к эффективным результатам, что связано с разными условиями производства и дифференциацией издержек на разных предприятиях. Следовательно, ассортимент, выгодный одному предприятию, может оказаться невыгодным другому. Установление же индивидуальных цен для каждого производителя в зависимости от уровня фактической себестоимости не реально практически и не верно теоретически, так как ликвидирует содержательный смысл цены, как экономического норматива, характеризующего общественно необходимый уровень затрат. Кроме того, через цены отдельных продуктов, входящих в ассортиментный набор, невозможно уловить реальный дополнительный эффект, получаемый при потреблении данного набора. Эффект комплектности становится существенным, когда изделие может потребляться отдельно или в наборе с другими продуктами и даже в разных комплектах.

В дополнение к приведенным в [28] соображениям отметим, что использование отдельных цен и наценок с целью стимулировать выпуск того или иного вида изделий или улучшить условия его реализации могут не обязательно дать положительный народнохозяйственный эффект и гарантировать, что за счет уменьшения потерь от дефицита в одних ячейках экономической системы мы не увеличим потери и рассинхронизацию в других. Следовательно, систему цен можно совершенствовать только на уровне народного хозяйства как единую задачу.

Согласно [30], возможны два подхода к решению этой задачи. Первый предполагает строго централизованное фондирование распределения ресурсов, исходя из данных о наиболее эффективном использовании ресурсов отдельными потребителями, с учетом ряда внеэкономических соображений. Такое централизованное распределение ресурсов предполагает разработку народнохозяйственных коэффициентов эффективности использования продукции, включая наличие экспертных оценок приоритетности потребителей и исходя из учета достоверности информации о потребностях (завышение) и возможностях (занижение).

Модель распределения ресурсов сводится к игровой ситуации и определению такого закона ценообразования и распределения, при котором выигрыш "Центра" максимизируется.

Второй подход заключается в установлении цен на уровне предельной цены в замыкающей сфере. В этом случае цена будет отвечать задаче стимулирования оптимального использования продукции. При таком подходе обеспечена экономическая заинтересованность потребителей в приобретении таких видов продукции и использования ее в тех сферах, которые эффективнее замыкающей.

Отметим, что решение задачи построения единой оптимальной системы цен для всего народного хозяйства эквивалентно построению системы оптимального функционирования экономики. Решение такой задачи с учетом взаимодействия между всеми звеньями системы позволит полностью решить задачу оптимального, синхронного взаимодействия между поставщиками и потребителями и определения рациональных связей между ними. Однако в настоящее время даже теоретическое решение задачи оптимизации функционирования всего народного хозяйства представляется весьма проблематичным.

Поэтому использование различных цен и наценок как основных управляющих параметров в моделях синхронизации деятельности предприятий-поставщиков и предприятий-потребителей является весьма сложным и проблематичным.

Выше были рассмотрены три способа экономического управления процессом синхронизации производственной деятельности предприятий. Представляется, что в настоящее время ни один из этих способов и никакое их сочетание не способны обеспечить синхронизацию производства. Альтернативой экономическому управлению обычно представляется "административный" метод управления. Суть его заключается в том, чтобы разработать на верхних уровнях управления детальный план производства и возложить административную ответственность за полное выполнение этого плана на нижестоящие органы.

Практически в настоящее время осуществление такого способа управления невозможно ввиду того, что на верхнем уровне нельзя обработать всю поступающую снизу информацию. Но и теоретически, с точки зрения оптимального функционирования системы это бессмысленно. Как отмечается в [31], решающим фактором, вызывающим необходимость децентрализации в человеко-машинных системах управления (следовательно, ту или иную форму экономического управления и признания наличия самостоятельных интересов у элементов системы, не тождественных интересам самой системы) является то, что всеобъемлющая централизация глушит инициативу, порождает безразличие и безответственность, поощряет эгоизм, препятствует появлению и реализации новых идей.

Очевидно, что для целей синхронизации деятельности предприятий административный метод управления не подходит. Причем основным аргументом против него, не считая, конечно, его неосуществимости, иллюзорности, является то, что превращение человека из субъекта

в объект управления самым неблагоприятным образом сказывается на функционировании системы [31].

При построении процедур планирования, согласования, координации важнейшее место занимают вопросы стимулирования качественного выполнения подсистемами определенного набора работ, способствующих достижению общесистемных целей. Это, в свою очередь, предполагает такую организацию поведения подсистем, при котором интересы максимально приближались бы к общесистемным. Такие математические (кибернетические) направления, как автоматное моделирование [32], теория игр [9], теория активных систем [21], теория игр с противоположными интересами [20], дают формализованные процедуры, способные существенно облегчить решение этих задач.

Вместе с тем во всех моделях стимулирования и поведения сложных систем, особенно социальных, остается открытым вопрос об определении точных значений (а часто и вида) коэффициентов и функций отклика системы на управляющее воздействие органов управления. Другими словами, органы управления, а тем более исследователь операций, не знают, насколько сильны их управляющие воздействия, достаточно ли применяемых санкций и поощрений для того, чтобы направить поведение управляемых подсистем в нужное органам управления направление. Практически эта задача решается (в лучшем случае) путем непрерывной настройки управляющих воздействий органов управления на реакцию подсистем, причем процесс этот случайный, плохо управляемый. Эти проблемы присущи как обществу с плановой экономикой, так и обществу с рыночной экономикой. В последнем случае необходимо поддерживать чистоту (оптимальность функционирования) конкуренции на рынке, осуществлять управление крупными (а значит существенно обюрокраченными) корпорациями, государственными и муниципальными органами.

Решение вопросов соизмерения управляющих воздействий и реакции подсистем представляется целесообразным искать на пути исследования ценностных ориентаций, трудовых и других мотиваций поведения коллективов и индивидуумов и построения на этой основе уточненных поведенческих моделей взаимодействия подсистем социальных систем. Для решения этих вопросов представляется необходимым объединить усилия социологии, психологии, экономики и кибернетики в рамках направления моделирования поведения сложных социальных систем, элементами которых являются индивидуумы и коллективы. Это направление можно было бы назвать социальной кибернетикой.

Одним из теоретических оснований социальной кибернетики должна стать социология экономической жизни, определяемая Т.И.Заславской в работе [35] как "... новое направление советской науки, кото-

рое исследует взаимодействие экономической и социальной сфер общества, экономических и социальных процессов, ... занимается в первую очередь анализом социальных факторов экономического развития, разработкой конкретных путей мобилизации социальных резервов производства. Совместно с другими отраслями научного знания — политической экономией, правом, кибернетикой — она обращается к разработке модели нового социального механизма экономики, опирающегося на систему управления с эффективными обратными связями”.

Представляется, что приведенный выше аппарат моделирования, наряду с имитационным моделированием, может быть с успехом использован для описания рассматриваемых в [35] разновидностей социально-экономического поведения: демографического, миграционно-мобильного, в сфере образования, профессионально-трудового, личностно-хозяйственного, в сферах распределения, обмена и потребления.

ГЛАВА III. МЕТОДЫ ТЕОРИИ ГРАФОВ

1. ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ГРАФОВ В СОЦИОЛОГИИ

Начало теории графов было положено еще в 1736 г. Эйлером при решении задачи о Кенигсбергских мостах. Позднее она применялась Кирхгофом (1847 г.) при исследовании электрических цепей, Кели (1857, 1874) в органической химии, Гамильтоном для решения головоломок. В XIX веке теория графов использовалась также в картографии, прежде всего, для решения вопроса о раскраске карт [14, с.34]. В XX веке теория графов нашла широкое применение в различных областях науки и техники, в том числе в биологии, экономике и социологии.

Например, теория графов использовалась для изучения сетей питания. Такая сеть представляет собой ориентированный граф (орграф), вершинами в котором являются виды, входящие в данное сообщество, а направленными ребрами, соединяющими вершины, отношение "А поедает В" ("В является пищей для А"): птицы и насекомые являются пищей для лис, насекомые являются пищей для птиц, травы являются пищей для насекомых, птиц, оленей и т.п. Такой граф позволяет найти конкурирующие виды: два вида конкурируют тогда и только тогда, когда пищей для них служит один и тот же вид [14, с.128].

Другой пример использования теории графов — исследование международных отношений, в частности, анализ союзных отношений между странами, принимающими участие в решении проблем Ближнего Востока (США, СССР и др.). В этом случае использовались так называемые знаковые графы: страны являются вершинами знакового графа и между ними проводится положительное ребро, если они союзники, и отрицательное — если противники. Далее вводится понятие баланса (подробнее на этом мы остановимся ниже) и определяется степень сбалансированности изучаемой ситуации [14, с.71].

Интересно предложение об использовании понятия баланса для анализа литературных произведений [28]. Отношения между персонажами романа, пьесы, рассказа изображаются в виде графа или орграфа: вершины — персонажи, а ребра или дуги — отношение симпатии (или какое-либо другое отношение, интересующее литературоведа). Рассчиты-

вается степень сбалансированности полученного графа и ее динамика на протяжении романа или пьесы. При этом подразумевается, что напряженность создается авторами путем построения несбалансированных ситуаций, а к концу произведения ситуация становится сбалансированной, менее напряженной. Сам характер динамики степени сбалансированности графа отношений между персонажами может характеризовать особенности конкретного произведения или особенности стиля того или иного автора.

В качестве аналога такого подхода (хотя и без использования теории графов) можно привести анализ некоторых сторон социально-психологической атмосферы античной литературной басни, проведенный М.И.Борецким и А.А.Кроником [1]. Авторы вводят типологию отношений между персонажами басен по важности (положительные, отрицательные, нейтральные) отношений и статусно-ролевым различиям и анализируют особенности использования тех или иных типов отношений Федром, Бабрием и Авианом¹.

Наконец, еще один, возможно несколько экзотический, пример — использование теории графов для доказательства несостоятельности категорического императива Канта [25]. Автор рассматривает теоретически возможное деление людей на группы и строит граф возможных отношений между группами лишь по одному параметру ("приемлемость — неприемлемость" членов другой группы для членов данной группы). В этих терминах вводится понятие сплоченности рассматриваемого множества людей и доказывается, что принятие категорического императива, приводящее к некоторому единству установок, не является ни достаточным, ни необходимым условием для достижения сплоченности.

Но наиболее развитое направление использования теории графов в социологии — анализ структуры межличностных отношений в малой социальной группе (собственно, последние два примера тоже тесно связаны с этой проблематикой). Начало этих работ можно отнести к 30-м годам, когда в рамках развиваемой Дж.Морено теории социометрии широкое распространение получили социометрические методы [10; 27]. Эти методы включают в себя специальные процедуры сбора первичной информации о выборах членов малой социальной группы по тому или иному критерию (например, школьников спрашивают: "С кем из одноклассников ты хотел бы сидеть за одной партой?"), а также способы представления и анализа этой информации. Основными способами представления социометрической информации являются социограмма и социоматрица. Социограмма — это рисунок, на котором члены группы изображаются точками, а их выборы — стрелками (если в ответе на данный вопрос член группы А выбрал члена группы Б, то на ри-

¹ Вообще думается, что использование методов социальной психологии для анализа произведений литературы, театра и кино предоставляет широкие, пока еще практически не использованные возможности.

сунке проводится стрелка от точки А к точке Б). Таким образом, с математической точки зрения социограмма представляет собой ориентированный граф. Социоматрица же представляет собой матрицу вершин смежности графа.

Несмотря на адекватность аппарата теории графов для описания и анализа социометрических данных, долгое время социометрические методы развивались без использования методов теории графов. Первые работы по применению теории графов для анализа структуры межличностных отношений появились, насколько нам известно, в пятидесятых годах. Чтобы показать, что дает использование графов для анализа социометрической информации, введем некоторые обозначения. Пусть исследована малая социальная группа, состоящая из n членов, определена структура группы по некоторому отношению R (например, R — задается ответами членов производственной бригады на вопрос "С кем из членов бригады Вы хотели бы работать в первую очередь, если бы бригада формировалась заново?"). Построена социограмма: из вершины i проводится дуга в вершину j тогда и только тогда, когда i -й член группы находится в отношении R с j -м членом группы (т.е. i -й член группы выбирает j -го в ответ на приведенный выше вопрос). Построена соответствующая социоматрица: элемент матрицы $x_{ij}^{(R)}$ равен 1, если i -й член группы выбрал j -го по отношению R и 0 в противном случае.

Основной способ анализа, используемый в социометрии, заключается в расчете количественных показателей, характеризующих структуру межличностных отношений в малой группе в целом (групповые социометрические индексы) или положение отдельных членов группы в этой структуре (индивидуальные социометрические индексы). Примерами индивидуальных социометрических индексов являются индекс социометрического статуса $S_j^{(R)}$ и индекс психологической экспансивности $E_i^{(R)}$.

$$S_j^{(R)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ij}^{(R)} = \frac{1}{n} \tilde{x}_j^{(R)}, \quad (1)$$

где $\tilde{x}_j^{(R)}$ — число выборов, полученных j -м членом группы.

$$E_i^{(R)} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_{ij}^{(R)} = \frac{1}{n} x_i^{(R)}, \quad (2)$$

где $x_i^{(R)}$ — число выборов, сделанных i -м членом группы по отношению R .

К групповым социометрическим индексам относится, например, индекс плотности

$$P^{(R)} = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_{ij}^{(R)} = \frac{N}{n^2}, \quad (3)$$

где N — число всех сделанных в группе выборов² (этот индекс часто на-

² Если отношение R таково, что респондент не может выбирать сам себя, то в формулах (1) и (2) нормировка — $(n-1)$, а в формуле (3) — $n(n-1)$.

зывают индексом экспансивности группы). Другой пример — индекс сплоченности (или взаимности), который представляет собой общее число взаимных выборов, разделенных на число всех выборов.

Читатели, знакомые с социометрической литературой, могут вспомнить десятка полтора — два различных социометрических индексов, но разнообразие это кажущееся: в зависимости от отношения R один и тот же индекс по-разному называется. Так, если R — симпатия, то индекс $S_i^{(R)}$ характеризует популярность данного члена группы, если R — власть, то официальный статус, если же R — коммуникационная связь, то осведомленность. Все эти индексы основаны, однако, на локальных характеристиках социогаммы (графа), т.е. на числе отданных, полученных выборов и их комбинациях, поэтому они не учитывают свойства структуры как целого, свойства, которые не сводятся к характеристикам отдельных элементов структуры. Например, межличностная сплоченность группы 1 (рис. 1), состоящей из двух разрозненных подгрупп, рассчитанная по таким индексам, выше, чем сплоченность группы 2, что противоречит нашим представлениям о самом понятии сплоченности.

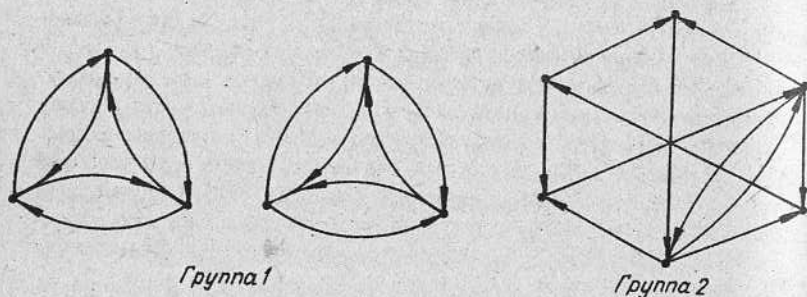


Рис. 1

Использование же теории графов (в частности, понятия связности) позволяет построить индексы, учитывающие свойства структуры как целого, и избежать ошибок такого рода, как в случае, приведенном на рисунке (например, сплоченность можно определить как нормированное число связей, которые необходимо разорвать, чтобы граф стал несвязным).

Приведем несколько примеров применения теории графов для исследования социальных структур. Для этого нам нужно предварительно определить некоторые элементарные понятия из теории графов. Мы введем понятия графа, орграфа, пути, расстояния и связности, а также интегрированности, униполярности и централизованности графа.

Графом D назовем пару (V, A) , где V — некоторое множество вер-

шин, A — множество пар элементов из V , представляющие собой ребра графа D .

Орграфом D назовем такую же пару (V, A) , но множество A в ней состоит из упорядоченных пар элементов из V , которые являются дугами орграфа.

Путем в D назовем последовательность вершин и дуг $(u_1 a_1 u_2 a_2 \dots u_{n+1})$, где все вершины u_i принадлежат множеству V , а дуги a_i множеству A и a_i — дуга $(u_i u_{i+1})$.

Расстояние $d(u, v)$ от вершины u до вершины v в графе D равно длине кратчайшего пути от u к v .

Граф называется связанным, если каждая пара его вершин соединима.

Вершина u называется центральной, если расстояния от нее до остальных вершин в целом невелики. Параметр центральности должен поэтому быть мерой центральности набора вершин.

Граф называется: 1) интегрированным, если все его вершины в основном центральны; 2) униполярным, если существует самая полярная вершина; 3) централизованным, если центральности одних вершин сильно отличаются от центральностей других вершин.

Покажем, как, используя понятия теории графов, можно ввести социометрические коэффициенты (индексы). Индексы определяются так, чтобы они не зависели от числа членов в группе и изменялись от 0 до 1.

Индивидуальные индексы или коэффициенты характеризуют положение отдельных членов группы в структуре ее взаимосвязей по данному отношению R . Например:

- 1) Вес i -го члена группы равен отношению дуг графа, для которого i — конечная точка, к числу вершин графа без единицы.
- 2) Индекс эмоциональной экспансивности i -го члена группы по данному отношению равен числу дуг графа, для которого i — начальная точка, нормированного числом людей в группе без единицы.
- 3) Индекс удовлетворенности данного члена группы равен отношению числа ребер, инцидентных i -й вершине графа к числу дуг, исходящих из этой вершины (доля взаимных выборов среди всех выборов, сделанных данным лицом).

Групповые индексы характеризуют всю группу в целом по данному отношению. Приведем примеры некоторых групповых индексов, сформулированных с помощью теории графов.

- 1) Плотность группы. Представляет собой нормированное число дуг графа. Нормировка проводится максимально возможным числом дуг графа.
- 2) Сплоченность группы — нормированное минимальное число дуг, которое необходимо удалить, чтобы граф стал несвязным (т.е. группа разделилась на подгруппы).

Покажем, как приведенные понятия центральности, интеграции,

униполярности и централизации графа использовались для анализа структур малых групп.

На уровне вершин параметр центральности является общепринятым для оценки положения объекта в сети.

Для описания таких свойств социальных групп, как сплоченность, связанность, коммуникабельность, единодушие, интеграция, осознание общности, можно использовать на уровне графов параметр интеграции.

Понятие поляризации тесно связано с теорией конфликта. Она характеризует степень сосредоточения положительных связей внутри подгрупп и отрицательных между подгруппами.

Идея введения параметра централизации состоит в измерении разобщенности центральных и периферийных объектов. Мера централизации является хорошей прогнозирующей переменной для таких характеристик деятельности, как эффективность (коррелирует положительно) и удовлетворенность участника (отрицательная корреляция).

Наряду с формулированием социометрических индексов использование теории графов позволяет решать и другие задачи, связанные с анализом структуры межличностных отношений. К таким задачам относится, например, задача выделения подструктур — связывающих, укрепляющих, ослабляющих членов группы, подгрупп. Например, под подгруппами можно понимать максимальные полные подграфы, т.е. подмножества членов группы, в которых все друг друга выбирают. Другое понимание подгруппы — это подмножества членов группы, сумма выборов внутри которых значительно превышает сумму выборов между членами разных подмножеств группы. В зависимости от определения могут быть разработаны те или иные алгоритмы выделения подгрупп [12, с.65–70]. Язык теории графов позволяет также решать задачи измерения интенсивности межличностных отношений, объединения ряда невзвешенных социограмм (графов) в один взвешенный [12, с.45–56]. К сожалению, анализ структуры межличностных отношений с помощью методов теории графов практически не используется социологами, а в известных нам отечественных (например, СОЦИОЛОГ, СКОСИ, ПАУЛА) и зарубежных (OSIRIS, SPSS, BMDP) пакетах программ, предназначенных для математической обработки социологической информации, отсутствуют средства для анализа социометрических данных³.

Использование теории графов для формулирования социометрических коэффициентов привело к понятию сбалансированности структуры межличностных отношений и породило целое направление в анализе структуры малых групп (модели структурного баланса), связанное с

³ Для повышения качества анализа социометрических данных и пропаганды современных средств математического анализа данных, использующих язык графов, нами разработан пакет программ "Социометрия", позволяющий решать некоторые из указанных выше задач [13]. Пакет передан во Всесоюзный банк социологических данных.

так называемыми теориями согласования, в частности, с теорией когнитивного диссонанса. Начало было положено работой Картрайта и Харари [16], которые предложили формализацию теории баланса Хейдера [23], хотя теория Хейдера формулируется в несколько более общем виде. Как пишет Ньюком о статье Хейдера, "главная цель этой работы ... заключается в том, что когда индивид выражает свое отношение к каким-то объектам, у него возникает своего рода познавательное неравновесие, если эти объекты тесно взаимосвязаны (по одному или нескольким критериям), в то время как категорические ориентации к ним противоположны, скажем, если ему "нравится" один из двух тесно взаимосвязанных объектов и "не нравится" другой. Например, если А нравится В и С, но он считает, что В не нравится С, это соотношение является одной из форм неравновесия". Если у Хейдера объекты, вызывающие неравновесное состояние, могут быть любыми, то модель Картрайта и Харари изучает неравновесные состояния, возникающие из-за различных отношений между членами группы (например, одному из друзей А и В нравится член группы С, а другому не нравится).

Теория баланса Хейдера формализуется с помощью полным алгебраических графов: это неориентированные графы, такие, что между двумя произвольными вершинами такого графа существует положительное или отрицательное ребро. Другими словами, это означает, что авторы делают следующее предположение (постулат 1): в малой социальной группе между любыми двумя членами группы существует либо взаимная симпатия, либо взаимная антипатия. Исходя из теории баланса Хейдера формулируется также следующий постулат (2): если изобразить с помощью алгебраических графов возможные варианты отношений в группе из трех человек (см.рис. 2), то графы 1 и 2 сбалансированы, а графы 3 и 4 — нет.

Наконец, последний постулат (3) связывает баланс триад с балансом всей группы: полный алгебраический граф сбалансирован если и только если все его триады сбалансированы.

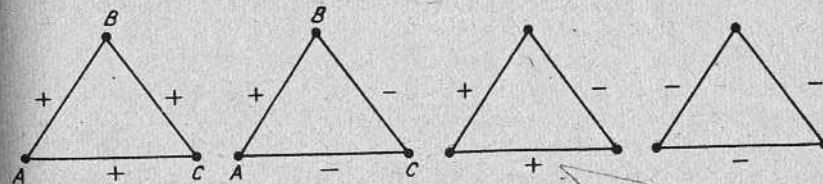


Рис. 2

Основываясь на этих постулатах, можно доказать следующую теорему: полный алгебраический граф с множеством вершин X сбалансирован тогда и только тогда, когда множество X можно разбить на два непересекающихся подмножества X_1 и X_2 (одно из них может быть пустым) таких, что все ребра, соединяющие вершины из X_1 , положительны, все

ребра, соединяющие вершины из X_2 , положительны, а все ребра, соединяющие вершины из X_1 с вершинами из X_2 , — отрицательны. Другими словами, теорема утверждает, что единственной сбалансированной ситуацией (при условии, что есть хотя бы одно отрицательное ребро) является наличие двух антагонистических подгрупп. Эта теорема интересна тем, что демонстрирует возможности применения математики к социологии: из элементарных посылок делается далеко не очевидный вывод, который верен постольку, поскольку верны исходные посылки.

Разумеется, исходные посылки данной модели далеки от реальности, но предложенная в этой простой модели схема моделирования годится для любых постулатов об отношениях в малой группе, этим она и интересна. Следующий шаг — введение показателя степени сбалансированности алгебраического графа: он определяется как наименьшее число ребер, которые должны изменить знак, чтобы граф стал сбалансированным. Далее предполагается, что группа "стремится" перейти от несбалансированной структуры к сбалансированной, причем балансирование осуществляется с помощью шагов, каждый из которых включает изменение знака одного ребра.

Наконец, последний этап — определение вероятности перехода группы к той или иной структуре, т.е. вероятности изменения знаков тех или иных ребер. Для этого строится следующая конструкция. Предположим, что мы изучаем малую социальную группу из n человек, структура взаимоотношений в группе изобразится полным алгебраическим графом с n вершинами. Построим теперь новый граф: все возможные алгебраические графы обозначим точками и соединим ребрами такие графы, которые отличаются знаком лишь одного ребра (авторы называют такой граф структурой полных алгебраических графов с n вершинами). На рис. 3 представлен такой "граф графов" для случая $n=3$. Предположив, что на каждом шаге несбалансированный граф переходит в такой граф, соединенный с ним ребром в структуре графов, для которого степень сбалансированности минимальна (если их R с одинаковой степенью сбалансированности, то вероятность перехода в каждый из них $1/R$), имеем возможность определить вероятность перехода к той или иной структуре межличностных отношений, т.е. получить прогноз развития структуры взаимоотношений в группе.

Описанная модель имеет множество недостатков. Во-первых, предполагается, что все отношения в группе взаимны (т.е. рассматриваются обычные, а не ориентированные графы). Во-вторых, не учитывается интенсивность симпатий или антипатий. Устранение уже только этих двух недостатков привело бы к существенному усложнению ситуации, к изменению понятия баланса: в этом случае он мог бы относиться не только к триаде, но и к диаде, а полностью сбалансированная триада (типа 1 на рис. 2) при существенных различиях в интенсивности симпатий ока-

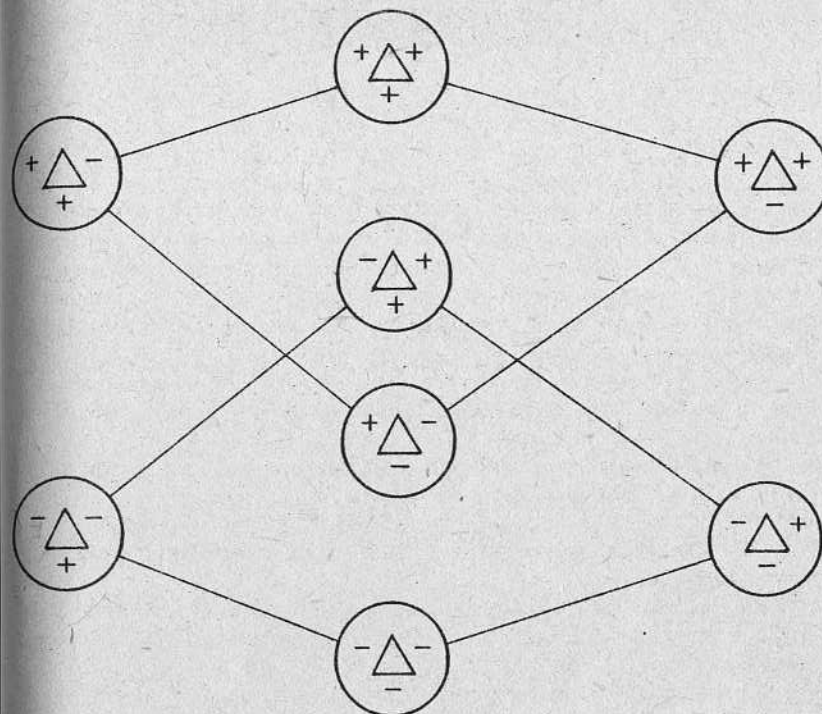


Рис. 3

залась бы несбалансированной. В-третьих, при определении баланса не учитываются важные характеристики членов группы, например, пол. Представьте себе, например, полностью сбалансированную с точки зрения постулата 2 триаду, где все ее члены испытывают друг к другу взаимную симпатию, причем членами триады являются муж, его жена и подруга жены. Будет ли в реальности ситуация сбалансированной, если муж и подруга жены будут испытывать друг к другу взаимную симпатию такой же интенсивности, как муж и жена? В-четвертых, динамика структуры межличностных отношений рассматривается отдельно, без связи с другими характеристиками группы, например, ее нормами и ценностями.

Часть недостатков устранена в дальнейших работах самих авторов модели и других исследователей, работающих в этом направлении. Мы рассмотрим некоторые из этих работ и предложим подход, представляющий нам перспективным для издания адекватных моделей динамики малых социальных групп.

2. ПЕРСПЕКТИВНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ СТРУКТУРЫ МАЛЫХ ГРУПП

Понимая структуру как набор элементов и связей между ними, мы выделяем два класса характеристик малой группы: характеристики самих элементов (членов группы) и характеристики отношений между членами группы (в частности, структуру межличностных отношений). Развитие структуры происходит в результате взаимодействия этих классов характеристик: при формировании группы характеристики членов группы (в частности, и ценностные ориентации) определяют структуру межличностных отношений, которая развивается по определенным законам и воздействует, в свою очередь, на изменение ценностных ориентаций членов группы.

Представляющееся нам перспективным направление в моделировании динамики структуры малых групп включает в себя следующие этапы:

- 1) определение зависимости структуры межличностных отношений в группе от характеристик членов группы;
- 2) изучение динамики межличностных отношений в диаде;
- 3) изучение влияния третьего лица на межличностные отношения двух данных лиц;
- 4) экстраполяция закономерностей, найденных на предыдущем этапе, и построение модели динамики структуры межличностных отношений в группе;
- 5) изучение влияния структуры межличностных отношений на ценностные ориентации членов группы.

Если не предполагать фиксированным социальное окружение группы, то следующим этапом является изучение зависимости динамики структуры группы от социального окружения. Думается, что описание динамики структуры (представляющее интерес само по себе) позволяет перейти затем к функционированию и построить, таким образом, достаточно полную модель малой социальной группы.

Мы рассмотрим ряд моделей, лежащих в русле указанного направления, остановимся на методах верификации этих моделей и опишем некоторые эксперименты, проведенные нами для проверки гипотез, положенных в основу моделей.

1. Первый этап построения модели кажется довольно простым — требуется определить, зная некоторые характеристики членов группы, вероятность возникновения между каждыми двумя из них того или иного отношения. Для решения этой задачи требуется, на первый взгляд, лишь достаточный объем эмпирического материала. Сложность, однако, в том, что такой материал невозможно собрать, не зная, какие характеристики требуется измерить, — вопрос, таким образом, упирается в необходимость описания и измерения психологических и социальных

черт личности, в неразработанность теории личности. Поэтому мы не будем рассматривать первый этап формирования группы и предположим, что некоторая начальная структура межличностных отношений уже сформировалась.

2. Переходя к отношениям в диаде, прежде всего поставим вопрос, из-за чего происходят изменения в отношениях, могут ли отношения изменяться "сами по себе", т.е. не из-за того, что изменились характеристики членов группы, детерминирующие отношения, или изменились отношения с другими лицами, а за счет закономерностей самого процесса развития отношений?

Для ответа на этот вопрос рассмотрим следующую модель. Пусть член группы X в момент времени t_0 начинает испытывать симпатию интенсивности x к члену группы Y . Предположим, что симпатия члена группы X в момент времени t_1 вызывает ответную симпатию и Y испытывает к X симпатию интенсивности $y^{(t_1)} = k_y x^{(t_0)}$ (k_y — "коэффициент отзывчивости" члена группы Y), X , в свою очередь, реагирует на это, отвечая симпатией интенсивности $x^{(t_2)} = k_x y^{(t_1)}$ и т.д. В этом случае оказывается, что если $k_x k_y$ больше 1, то X и Y будут испытывать друг к другу возрастающую до бесконечности симпатию, если $k_x k_y$ меньше 1, то X и Y "разлюбят" друг друга, ситуация будет стабильна лишь при $k_x k_y = 1$.

Разумеется, график отзывчивости, представляющий собой прямую линию, не может соответствовать действительности, более реалистичным является предположение, что такой график скорее напоминает первую четверть синусоиды (возрастание симпатии X приводит, начиная с некоторого момента, к падению симпатии Y). Для рассмотрения этой ситуации введем понятие, характеризующее степень взаимной симпатии членов диады — степень их притяжения друг к другу. Предположим, что степень притяжения членов диады характеризуется некоторым коэффициентом притяжения K . Он, очевидно, является результирующей многих факторов, влияющих на это притяжение, но к вопросу его формирования мы вернемся позже. Пусть динамика состояния отношения близости (в некотором смысле по целям, по интересам, по увлечениям и т.д.) описывается переменной состояния близости S . Будем считать ее дискретной переменной, меняющейся в какую-то единицу времени (предположим, каждый день).

Можно предположить, во-первых, что на отношения на каждом последующем временном отрезке существенно влияют отношения на предыдущем отрезке; во-вторых, — эта зависимость, как уже указывалось, не может быть линейной, так как в таком случае было бы возможно бесконечное увеличение близости. Очевидно, для S разумно ввести некоторый предел, зависящий от K и характеризующий максимальную возможную близость в диаде. Так как величина S у нас условна, то, не ограничивая общности, мы можем предположить этот предел равным

К/4. Одним из возможных математических описаний такой зависимости может быть простое разностное уравнение:

$$S_{n+1} = KS_n(1 - S_n)$$

(S_n — состояние близости на n -м шаге развития отношений; S_{n+1} — состояние близости на $(n+1)$ -м шаге; K — коэффициент притяжения в диаде.

На рис. 4 изображен график непрерывной зависимости $y = Kx(1-x)$.

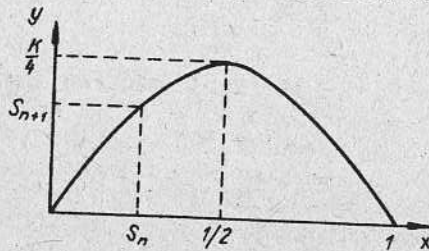


Рис. 4

Это функция, переводящая отрезок $(0,1)$ в отрезок $(0, K/4)$. Нас будут интересовать только положительные значения x и y . Имея этот график и взяв по оси x значение переменной состояния близости S в момент времени t_n , мы получим на оси значение переменной S в последующий момент времени t_{n+1} . Проследим таким образом динамику отношений при различных значениях коэффициента притяжения:

1) $K=1$

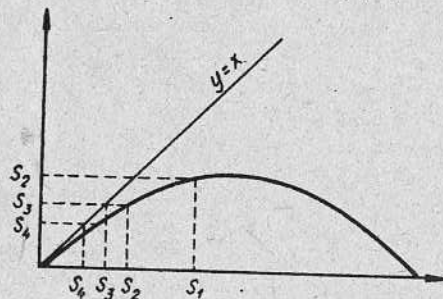


Рис. 5

Как можно увидеть простым отслеживанием изменения переменной S , каким бы ни было начальное состояние близости в диаде, оно со временем стремится к нулю. Другими словами, этот уровень притяжения неминуемо приводит к охлаждению отношений независимо от их начального состояния.

Здесь, как видим, величина S постоянно возрастает, стремясь к предельному значению $1/2$.

Отношения развиваются циклически, имея всего два состояния

$S_1(S_3...)$, $S_2(S_4...)$, которые постоянно сменяют друг друга. Выход на эти состояния происходит из любой начальной точки за конечное число шагов. Иными словами, отношения то улучшаются, то ухудшаются, постоянно сохраняя этот колебательный режим.

2) $K=2$

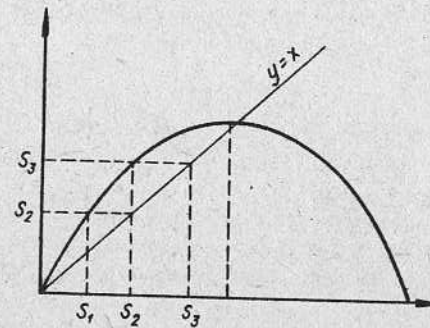


Рис. 6

3) $K=1+\sqrt{5}$

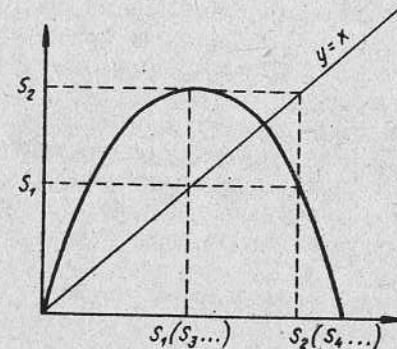


Рис. 7

Дальнейшее отслеживание динамики отношений в диаде в зависимости от коэффициента притяжения K приводит нас к циклам более сложной структуры, а затем и к непериодической (хаотической) последовательности S_n .

В приведенной модели существенными для нас являются не количественные значения коэффициента притяжения K , а качественные выводы, которые мы можем сделать из сказанного выше. Как видим, при некотором малом значении параметра K отношения в диаде, даже начавшись с некоторого положительного состояния, убывают до нулевого значения. При изменении K в некотором диапазоне (от 1 до 2) отношения будут стремиться к какому-то оптимальному при данном K значению.

чению. Дальнейшее увеличение притяжения приводит к неровностям в отношениях и даже хаосу. Изучая отношения в диаде, интересно было бы научиться определять, в какой из этих трех существенно различных диапазонов попадает значение коэффициента притяжения K .

Очевидно, значение коэффициента притяжения K зависит от степени симпатии первого члена диады ко второму (обозначим K_1) и второго ко первому — K_2 . Естественно предположить, что

$$K = K_1 K_2.$$

Если это наше допущение и приведенная модель верны, то можно легко проследить влияние симпатии одного члена диады к другому на состояние отношений в целом.

Кроме того, как уже говорилось выше, формирование и изменение коэффициента K может происходить под воздействием различных других обстоятельств — третьего лица, внешнего окружения, событий в жизни членов диады и т.д.

Изучение этого влияния позволило бы прогнозировать развитие отношений в диаде в зависимости от меняющегося окружения. Приведенная модель очень проста и, очевидно, не может претендовать на полноту описания законов развития отношений в диаде, но из нее следует, что эти отношения могут быть нестабильными и меняться не только под воздействием внешних обстоятельств, но и в силу закономерностей самого процесса развития отношений (величины K).

Оценка адекватности модели затрудняется сложностью измерения кривой отзывчивости. Если бы удалось решить задачу восстановления кривой отзывчивости данного лица по истории его предыдущих отношений, указанная модель могла бы, возможно, представить и практический интерес для психологических служб, служб семьи и служб знакомств.

3. Как указывалось в предыдущем параграфе, изучению баланса в триадах и обобщению модели Картрайта и Харари было посвящено множество работ [см., например, 15; 16; 17; 18; 19; 22; 24; 26; 28], делались также попытки эмпирически проверить гипотезы о сбалансированности тех или иных типов триад. Одной из наиболее близких к эмпирическим данным гипотез была гипотеза Холланда и Лейнгарда о том, что сбалансированными являются транзитивные триады (т.е. триады, в которых A симпатизирует B , B симпатизирует C и A симпатизирует C), а несбалансированными — нетранзитивные [24]. При этом в отличие от Картрайта и Харари авторы не ограничиваются лишь симметричными отношениями и рассматривают ориентированные, а не обычные графы, оценивая с точки зрения сбалансированности все возможные типы триад (всего возможно 16 типов неизоморфных триад). На рис. 8 приведен пример транзитивных и нетранзитивных триад. Интенсивность симпатии при этом, однако, не учитывается и степень ба-

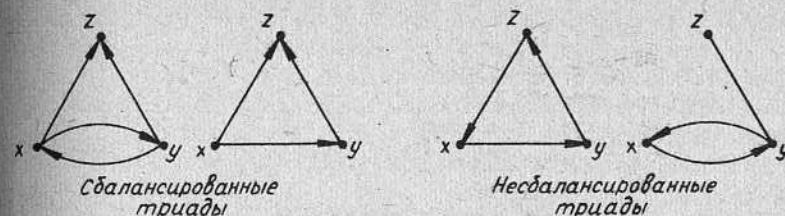


рис. 8. Пример сбалансированных и несбалансированных триад в модели Холланда—Лейнгарда

ланса триады не определяется — каждая триада считается либо сбалансированной либо несбалансированной.

Представляют интерес методы проверки такого рода гипотез. По данным исследования малых групп строятся социогаммы (ориентированные графы), рассматриваются всевозможные сочетания из числа членов групп по три, и относят каждую триаду к одному из 16 типов неизоморфных триад, принимая во внимание лишь отношения между тремя выделенными членами группы. Число триад того или иного типа сопоставляется с числом триад того же типа в "случайной группе", т.е. в социогаммах такой же размерности, полученных моделированием на ЭВМ выборов членов группы в предположении, что эти выборы делаются случайно. Если несбалансированные триады в реальных группах встречаются с такой же частотой, что и в случайных, а сбалансированные — значительно чаще, то гипотеза верна. В противном случае исследователь получает данные о том, какие из триад "ведут себя" не так, как предсказывает гипотеза, и вносит коррективы.

При проверке нескольких гипотез на материале 742 социогамм, полученных путем обзора литературы по социальной психологии [17; 24], установлены данные, показывающие, что лучше всего согласуется с эмпирическими данными гипотеза транзитивности — противоречие с данными, предсказанными гипотезой, было получено лишь для одного из 16 типов триад.

4. Следующий шаг — определение степени сбалансированности структуры группы как доли сбалансированных триад по отношению к числу всех триад в группе и постулирование того, что группа переходит от менее сбалансированной к более сбалансированной структуре. Одним из вариантов такого постулата является следующий⁴. За единицу времени в группе изменяется одна из симпатий (т.е. появляется или исчезает одна из дуг в графе, описывающем структуру симпатии) таким образом, что степень сбалансированности группы увеличивается. Поскольку от данной структуры изменением одной дуги можно перейти к нескольким более сбалансированным структурам, вводится еще один

⁴ Мы излагаем несколько модифицированный вариант модели Фламенга.

постулат: вероятность перехода группы к той или иной структуре прямо пропорциональна степени сбалансированности этой структуры. Можно представить себе эту модель как построение "графа графов", описанного в предыдущем параграфе. Одна из вершин является графом, описывающим структуру в начальный момент, и получается эмпирически, от нее исходят дуги к вершинам, представляющим собой графы, полученные из начального изменением одной дуги и более сбалансированные, чем начальный граф. Они, в свою очередь, соединены дугами с вершинами, представляющими собой более сбалансированные графы, полученные изменением одной дуги и т.д. Далее ищутся вероятности того или иного пути в "графе графов", т.е. вероятности перехода группы к той или иной структуре.

5. Прогноз динамики структуры межличностных отношений позволяет перейти к прогнозированию ценностных ориентаций членов группы. Как уже указывалось, одним из самых важных факторов, оказывающих влияние на изменение ценностных ориентаций личности, является общение с другими людьми. Мы предложим модель, связывающую межличностные отношения с изменением ценностных ориентаций личности, и изложим эксперименты, проведенные нами для проверки гипотез, положенных в основу модели.

Отправной точкой для разработки нашей модели послужит модель, предложенная Дж.Р.П.Френчем [20] и основанная на следующих предположениях. Пусть имеется какое-то начальное распределение диспозиций (мнений, отношений к чему-либо или оценок) между членами группы. Предполагается, что каждое мнение или отношение может быть изменено с помощью некоторой интервальной (или псевдоинтервальной, типа Лайкерта или Терстоуна) шкалы и, следовательно, обозначается точкой на одномерном континууме. Изменение диспозиций происходит под влиянием других членов группы, причем предполагается, что степень влияния Y на X (доминирование, власть) равна разности максимальной силы, с которой Y может действовать на X и X может действовать на Y (последняя называется силой сопротивления). Всякое влияние имеет определенную основу, базу, которая определяется как отношение между X и Y , являющееся причиной влияния. С этой точки зрения можно выделить несколько типов влияния диспозиций Y на диспозиции X : влияние, обусловленное тем, что Y является начальником X ; X считает, что у Y больше знаний, информации; X испытывает симпатию к Y и пр. Формулируются следующие постулаты, положенные в основу марковской модели, позволяющей осуществить прогноз изменения диспозиций.

Постулат 1. Для данного расхождения во мнениях величина результирующей силы, с которой A побуждает B изменить свое мнение, пропорциональна силе базы влияния A на B .

Постулат 2. Величина силы действия A на B пропорциональна вели-

чине расхождения во мнениях между A и B . Предполагается, что зависимость линейная.

Постулат 3. Существует определенный отрезок времени, одинаковый для всех лиц и такой, что за этот отрезок времени каждое лицо, на которое повлияли, будет менять свое мнение, пока не достигнет точки равновесия, где результирующие силы равны нулю. Этот отрезок времени называют единицей.

Оценивая модель Дж.Френча, следует отметить, что при всей своей привлекательности, она имеет весьма существенные недостатки. Если постулат 1, по-видимому, достаточно верно отражает реальность и постулат 2 тоже имеет некоторое эмпирическое обоснование (например, известно, что чем больше отклоняется мнение члена группы от мнения большинства, тем большее давление оказывает на него группа), то постулат 3 вызывает серьезные возражения.

Предположение, сделанное в постулате 3, означает, что в начале единицы на каждого члена группы действуют силы других членов группы, побуждающие его изменить свое мнение, и сила сопротивления, с которой член группы стремится сохранить свое мнение. Предполагается, что к концу единицы каждый член группы изменит свое мнение к точке равновесия сил (эти точки, вообще говоря, разные для каждого члена группы), и в начале следующей единицы члены группы начинают спорить уже с новым мнением, т.е. предполагается, что все члены группы реагируют с одинаковой скоростью на силы, действующие на них. Это явно не соответствует действительности. Более того, постулат 3 в некоторой мере противоречит двум предыдущим постулатам (например, постулат 1, фактически, означает, что при одинаковых расхождениях во мнениях лица с большей силой базы влияния быстрее достигнут точки равновесия).

Наконец, недостатком является и то, что сила влияния членов группы друг на друга никак не дифференцирована, констатируется лишь наличие или отсутствие влияния (другими словами, влияние измерено в дихотомической шкале, имеющей два значения — 0 и 1). С этой точки зрения неясно, каким образом мог бы быть проверен первый постулат.

Мы сделаем попытку избавиться от этих недостатков на примере изучения лишь одного — наиболее важного и универсального, на наш взгляд, типа влияния — влияния, связанного с отношением симпатии. Естественным условием, предвещающим формулирование постулатов модели, является предположение о стабильности внешних по отношению к изучаемой группе условий, а также о стабильности параметров, не учтенных в модели. В данном случае таким предположением является отсутствие должностной иерархии (школьный класс, студенческая группа) и ограниченность круга общения членами рассматриваемой группы.

Основное предположение модели заключается в том, что сила влияния Y на X прямо пропорциональна интенсивности симпатии X к Y , т.е. для каждого члена группы силы влияния друг на друга обратно пропорциональны интенсивностям симпатий. Более строго сказанное означает, что если в некоторый начальный момент времени 0 член группы X испытывает симпатию интенсивности x к члену группы Y , а Y испытывает симпатию интенсивности y к члену группы X , то за некоторое время t_1 в результате взаимодействия между X и Y диспозиция $a_x^{(0)}$ члена группы X по отношению к некоторому объекту и диспозиция $a_y^{(0)}$ члена группы Y по отношению к тому же объекту изменяется следующим образом:

$$a_x^{(tr)} = a_x^{(0)} \frac{y}{x+y} + a_y^{(0)} \frac{x}{x+y}; \quad (4)$$

$$a_y^{(tr)} = a_y^{(0)} \frac{x}{x+y} + a_x^{(0)} \frac{y}{x+y}, \quad (5)$$

где $a_x^{(tr)}$ и $a_y^{(tr)}$ — диспозиции членов группы X и Y соответственно в момент времени tr .

Таким образом,

$$a_x^{(tr)} = a_y^{(tr)} = r. \quad (6)$$

Значение r можно назвать точкой равновесия ценностных ориентаций X и Y . Тогда t_r — это время, за которое члены группы X и Y достигают точки равновесия.

Полагая равномерным процесс выработки согласованной ориентации (т.е. полагая линейной функцию изменения ценностных ориентаций во времени), находим, что в некоторый момент t , предшествующий достижению равновесия ($0 \leq t \leq t_r$), ценностные ориентации X и Y "пройдут" по направлению к точке равновесия r отрезок пути, пропорциональный отношению t к t_r :

$$a_x^{(t)} = a_x^{(0)} + \frac{t}{t_r} (r - a_x^{(0)}); \quad (7)$$

$$a_y^{(t)} = a_y^{(0)} + \frac{t}{t_r} (r - a_y^{(0)}). \quad (8)$$

Подставив в эти формулы значение r из формул (4), (5), (6), получим:

$$a_x^{(t)} = a_x^{(0)} + \frac{t}{t_r} \frac{x}{x+y} (a_y^{(0)} - a_x^{(0)}); \quad (9)$$

$$a_y^{(t)} = a_y^{(0)} + \frac{t}{t_r} \frac{y}{x+y} (a_x^{(0)} - a_y^{(0)}). \quad (10)$$

Уравнения (9) и (10) представляют собой точное выражение постулата 1 в нашей модели.

Следующий постулат формулирует обратно пропорциональную зависимость между временем достижения равновесия и интенсивностью

симпатий X и Y друг к другу: чем выше интенсивность симпатий, тем меньше времени требуется для достижения точки равновесия. Другими словами:

$$t_r = \frac{T}{x+y}, \quad (11)$$

где T — время, за которое члены группы X и Y пришли бы к точке равновесия при единичной суммарной симпатии, т.е. при условии $x+y=1$.

Заметим, что экспериментально можно определить величины $a_x^{(t)}$, $a_y^{(t)}$, $a_x^{(0)}$, $a_y^{(0)}$, x и y , t , затем, из формул (9) и (10) найти t_r и, наконец, из формулы (11) определить T . После этого уже несложно построить формулу для прогнозирования ценностных ориентаций X и Y в любой момент времени t , если известны их ориентации в некоторый начальный момент времени. Поставив (11) в (9) и (10), получим:

$$a_x^{(t)} = a_x^{(0)} + \frac{t}{T} x (a_y^{(0)} - a_x^{(0)}); \quad (12)$$

$$a_y^{(t)} = a_y^{(0)} + \frac{t}{T} y (a_x^{(0)} - a_y^{(0)}). \quad (13)$$

Формулы верны при t , лежащем на отрезке $(0, t_r)$. При t , больших t_r , ориентации становятся равными и дальше не изменяются. Формулы (12) и (13) резюмируют основные предположения модели. Как видим, отличия от рассмотренной нами ранее модели Дж.Френча весьма существенны.

При обобщении нашей модели на случай N членов группы возникают определенные сложности. Можно выделить следующие подходы к обобщению модели:

1. Определить точку равновесия как средневзвешенную арифметическую от диспозиций каждого члена группы, причем веса диспозиций каждого члена группы в сумме положить равными сумме симпатий других членов группы к данному. Тогда формулы (7) и (8) останутся в силе (с той лишь разницей, что иным способом получено значение r), и все дальнейшие преобразования сохраняют смысл.

2. Определять точку равновесия не общую для всех членов группы как в первом подходе, а свою для каждого члена группы, положив ее равной средневзвешенной от диспозиций членов группы, связанных с данным членом группы в структуре симпатий, причем вес диспозиций данного члена группы равен сумме интенсивностей симпатий, испытываемых к нему другими членами группы, а веса диспозиций других членов группы равны интенсивностям симпатий, испытываемых к ним данным членом группы.

3. Ввести еще одну переменную, характеризующую частоту (вероятность) контактов. Изменение ценностных ориентаций данного члена группы рассчитывать по формулам, аналогичным формулам (12) и

(13). Получим $(N-1)$ значение для диспозиции данного члена группы в момент времени t . Искомым значением диспозиции данного члена группы в момент времени t будет средневзвешенная от полученных $(N-1)$ значений, причем весами выступают вероятности контактов с каждым из $(N-1)$ членов группы.

Мы полагаем, что для выбора того или иного подхода к обобщению модели требуется дополнительная информация о процессах, происходящих в группе, поэтому целесообразно сначала экспериментально определить адекватность гипотез, положенных в основу модели.

Мы сделали попытку проверить основную гипотезу, положенную в основу модели — о влиянии интенсивности симпатии на изменение диспозиций членов группы. Если эта гипотеза верна, то в существующих достаточное время группах для каждого двух членов группы близость их ценностных ориентаций должна быть пропорциональна степени симпатии их друг к другу. Это следствие из сформулированных выше гипотез и было подвергнуто проверке.

В пятнадцати случайным образом отобранных 10-х классах школ г.Киева было проведено исследование, включающее в себя социометрический опрос и измерение престижа ряда профессий (школьникам предлагалось упорядочить карточки с названиями профессий по убыванию престижа). Для каждого класса рассчитывалась матрица симпатий P (элемент P_{ij} , стоящий на пересечении i -й строки и j -го столбца, — это коэффициент симпатии i -го члена группы к j -му⁵) и матрица близости оценок престижа T (матрица ранговых корреляций между ранжировками престижа каждого двух членов группы). Поскольку матрица симпатий несимметрична, находилась симметричная матрица S , равная сумме матрицы симпатий и транспонированной матрицы симпатий: элементы S_{ij} матрицы S представляют собой сумму интенсивности симпатии j -го члена класса к i -му члену и i -го члена класса — к j -му

$$S = P + P'; S_{ij} = S_{ji} = P_{ij} + P'_{ij} = P_{ij} + P_{ji}. \quad (14)$$

Затем между матрицами S и T , рассматриваемыми как вектора, находился коэффициент корреляции $r(S_{ij}, t_{ij})$. В 6 из 15 классов коэффициент оказался незначим, а в 9 — значим. Все значимые коэффициенты положительны (значение значимых коэффициентов корреляции варьировалось от 0,19 до 0,36). Учитывая, что круг общения школьников далеко не замкнут рамками их класса и на изменение ценностных ориентаций оказывают влияние общение с друзьями и знакомыми вне класса, общение в семье, чтение литературы, средства массовой информации и пр., полученные коэффициенты можно считать достаточ-

но высокими. Таким образом, гипотеза в целом подтвердилась, хотя вопрос, от каких характеристик класса зависят значения этих коэффициентов (в частности, чем объяснить наличие незначимых коэффициентов), остается открытым. Представляется целесообразным проверить гипотезу также на других типах малых групп и для других типов ценностных ориентаций.

Полученные результаты позволяют надеяться, что объединение изложенных нами моделей в рамках единого подхода позволит создать модель динамики малой группы, лучше согласующуюся с эмпирическими данными, чем существующие модели. Прогнозирование характеристик структуры межличностных отношений и характеристик ценностных ориентаций членов группы по некоторым известным параметрам, описывающим черты их личностей, представляет интерес для формирования групп (школьных классов, студенческих групп, производственных бригад), для планирования педагогических воздействий в первичных коллективах, для изучения процессов отражения сообщений средств массовой информации общественным мнением и для других целей.

⁵ Методика измерения интенсивности симпатий изложена нами ранее [12, с.54: формула 4].

ГЛАВА IV. ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

1. СПЕЦИФИКА ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Понятие имитационного моделирования появилось в США в начале шестидесятых годов в связи с изучением сложных систем с характеристиками, зависящими от случайных параметров или функций: для изучения этих характеристик использовался метод Монте-Карло, объединенный с численным решением задач Коши [1, с.103]. Именно это определение понятия дается, например, в "Кибернетическом словаре". "Моделирование имитационное системы — воспроизведение процессов, происходящих в системе, с искусственной имитацией случайных величин, от которых зависят эти процессы, с помощью датчика случайных чисел или псевдослучайных чисел. Комбинируя детерминированные и стохастические зависимости, — составляют алгоритм моделирования системы ... Характеристики, которые нужно определить, оцениваются Монте-Карло методом [2, с.319]. Позднее, как отмечает Н.Н.Моисеев, это понятие стали использовать в более широком смысле, понимая под имитационным моделированием любое воспроизведение в ЭВМ сложного динамического процесса с последующим анализом множества вариантов его течения [1, с.103].

Таким образом, понятие имитационного моделирования употребляется как в узком, так и в широком смысле. Узкое понимание имитационного моделирования определено достаточно четко, оно базируется на определенном математическом методе (Монте-Карло) и часто даже отождествляется с ним, специфика его вполне ясна. В этом случае целесообразно, как это сделано, например, в [3, с.147], говорить о статистическом имитационном моделировании. Что же касается широкого понимания имитационного моделирования, то специфика его выявляется далеко не так четко.

Действительно, рассмотрим некоторые из приведенных в литературе определений имитационного моделирования (в широком смысле). "Имитационной моделью системы будем называть модель, исследование которой осуществляется путем эксперимента, воспроизводящего процесс функционирования или развития системы" [4, с.5]. Здесь под-

черкивается динамический характер модели, возможность ставить на ней вычислительные эксперименты. Конечно, эта особенность может отличить имитационные модели от некоторых других математических моделей, но она присуща практически всем компьютерным моделям.

С.А.Пегов, ссылаясь на процитированную нами выше работу Н.Н.Моисеева, дает следующее определение. Суть имитационного математического моделирования "заключается в попытке формализации с помощью современных ЭВМ любых эмпирических знаний о рассматриваемом объекте. Имитационная модель представляет собой полное формализованное описание (курсив наш. — Авт.) в ЭВМ изучаемого явления на грани нашего понимания. Слова "на грани нашего понимания" означают, что в процессе имитационного моделирования причинно-следственные связи не обязательно проследивать "до последнего гвоздя". Для построения модели достаточно знать лишь внешнюю сторону каких-либо связей типа: "если А, то В" [5, с.75]. В определении же В.Маслова указывается на то, что специфика имитационных моделей состоит как раз в неполноте описания: "Имитационное моделирование заключается прежде всего в конструировании мысленной модели (имитатора), имитирующей объекты и процессы ... по нужным (но не полным) показателям ... Именно неполнота описания объекта (курсив наш. — Авт.) делает имитационную модель принципиально отличной от математической в традиционном понимании" [6].

Выделяя курсивом полноту и неполноту описания объекта, мы не утверждаем, что эти два определения полностью противоречат друг другу: во втором определении речь идет, по-видимому, о неполноте исходного эмпирического описания, по нему может быть построено полное описание объекта в ЭВМ (например, с помощью экспертных оценок). Вместе с тем в них делается акцент на различных сторонах отражения в модели характеристик объекта исследования: в первом речь идет о том, что для модели достаточно внешнего описания причинно-следственных связей, т.е. зависимости могут быть корреляционными, сопутствующими, знания механизмов процесса не требуется; во втором речь идет о возможности не описывать математическими средствами полностью весь изучаемый объект, дополнять отсутствующие данные с помощью интуиции и опыта пользователя, работающего с моделью в диалоге.

Возможность работать с моделью в диалоге тоже требует определенных комментариев. В общем случае понятие имитационного моделирования не предполагает обязательного использования ЭВМ. Выделяют три класса имитационных моделей: игровые модели (элементами модели являются люди, исполняющие игровые роли), человеко-машинные модели и машинные (компьютерные) модели [7, с.11; 4, с.5]. В данной монографии мы рассматриваем лишь такие модели, которые существенно используют компьютер, поэтому речь может идти о человеко-машинных и машинных моделях. Однако машинные имитационные модели предполагают активное участие человека, задающего различные

условия и сценарии для имитации тех или иных вариантов протекания моделируемых процессов. Поэтому различие машинных и человеко-машинных моделей по отношению к имитационным моделям определено не совсем четко. По-видимому, имитационные модели ближе к человеко-машинным, чем к машинным моделям, это можно рассматривать как одну из особенностей имитационных моделей.

Акцент на диалоге с моделью привел к понятию имитационной системы [1, с.104; 8, с.29; 9, с.10], под которой понимается вычислительная диалоговая система (т.е. система со специальными средствами общения исследователя с ЭВМ), основанная на имитационной модели изучаемого процесса. Наряду с развитием средств, обеспечивающих диалог исследователя с компьютером, активно разрабатываются средства создания имитационных моделей, т.е. алгоритмические языки имитационного моделирования, например, GPSS, СИМСКРИПТ, ДИНАМО, их создано уже более 500 [10]. Делаются также попытки создать теорию имитационных моделей [10, с.8].

В этой книге, являющейся, по свидетельству Г.Т.Артамонова и М.И.Нечепуренко, единственной в мире монографией по исследованию языков программирования имитационных моделей (оценка дана по состоянию на 1985, когда было написано их предисловие к книге Е.Киндлера), имитационные модели понимаются очень широко. "Имитационное моделирование, — дает определение Е.Киндлер, — метод исследования, основанный на том, что изучаемая динамическая система заменяется ее имитатором и с ним проводятся эксперименты с целью получения информации об изучаемой системе" [10, с.27]. При таком определении компьютерное имитационное моделирование совпадает с тем пониманием компьютерного моделирования вообще, которое было принято нами во введении. Предвидя возможные возражения, автор приводит контрпримеры, доказывающие, что его определение не должно вызвать расширительных трактовок и что "из определения имитационного моделирования нельзя выбросить ни одного слова" [10, с.28]. Так, при начислении зарплаты используется ЭВМ, но это ни в коем случае не является имитационным моделированием.

Нам кажется, что этот контрпример недостаточно убедителен — ведь начисление зарплаты вообще не является моделированием. Речь же должна идти о таком определении имитационного моделирования, которое бы отличало его от компьютерного моделирования вообще. Думается, что с этой целью необходимо более подробно остановиться на понятии имитации. Уровень нашего понимания английского языка не позволяет нам, к сожалению, судить о том, звучит ли сочетание "имитационная модель" (simulation model) таавтологично на английском, но на русском языке оно не намного отличается от словосочетания "масляное масло". Ведь любая модель имитирует какие-то характеристики или процессы изучаемого объекта, является его отражением, "имитацией". Вопрос в том, какая из моделей в большей степени имитирует

объект, ближе к нему по значимым для исследователя характеристикам, точнее отражает его функционирование.

Надо сказать, что некоторые авторы стараются отразить в определении имитационного моделирования "степень имитации". С.А.Шашнов справедливо указывает на то, что ключевым принципом, позволяющим дать целостную характеристику имитационному моделированию, является принцип имитации. Далее он рассматривает имитационное моделирование как такое представление объекта в модели, при котором "качественная природа объекта искажается по возможности в минимальной степени и достаточно точно отображается динамика изменений его состояний на некотором временном промежутке" [7, с.10]. В.А.Кутузов отмечает, что "имитационная модель строится в форме моделирующего алгоритма, который реализуется на ЭВМ и приближенно воспроизводит процессы, происходящие в исследуемом объекте, с сохранением логических, временных и количественных соотношений, присущих воспроизводимым процессам" [3, с.147].

Вместе с тем строго определить степень точности отображения динамики изменений состояний объекта или степень сохранения логических, временных и количественных соотношений, начиная с которой модель становится имитационной, невозможно, да и нецелесообразно. Ведь определение понятия не является самоцелью. В данном случае введение тех или иных дефиниций нужно лишь для того, чтобы соотнести те или иные классы моделей с содержательными задачами, которые необходимо решить, выявить направление, наиболее адекватное исследованию и описанию социальных процессов, оценить перспективные направления моделирования и сформулировать методологические принципы, использование которых полезно при создании моделей социальных объектов.

Исходя из сказанного, мы полагаем, что компьютерные имитационные модели не могут быть поставлены в один ряд с автоматными моделями, моделями системной динамики, моделями, основанными на аппарате цепей Маркова, и т.п., т.е. с моделями, основанными на некотором достаточно конкретном математическом методе или подходе. Имитационное моделирование — это более широкое направление, охватывающее широкий класс моделей, точнее некоторый подход к моделированию, методологический принцип. Для него характерно идти при построении модели не от математического метода, пытаясь так описать реальность, чтобы можно было этот метод использовать, а от объекта исследования, пытаясь как можно полнее отобразить его функционирование или развитие. При этом приходится учитывать в модели неформализуемые элементы, считаться с неполнотой описания объекта и искать средства ее преодоления, использовать эвристические методы, диалог исследователя с ЭВМ, экспертные оценки и т.п. Поэтому для имитационного моделирования характерны все те особенности, которые были перечислены выше. Используемый же математический аппарат

имеет, вероятно, второстепенное значение: те же цепи Маркова, например, могут использоваться и в имитационной и в обычной компьютерной модели в зависимости от способа их использования и природы объекта.

Заметим также, что степень имитации объекта в модели, степень отражения механизмов исследуемых процессов не может определяться непосредственно, сравнением модели с объектом, ведь социальный объект представлен лишь в виде наших знаний о нем, в виде концептуальной модели объекта. Поэтому характерной особенностью имитационной моделирования является близость языка модели языку предметной области, в которой содержатся знания о моделируемом объекте. Кроме того, характерные особенности имитационного моделирования в социологии состоят также в том, что, во-первых, имитационное моделирование привлекается для представления, скорее, конкретных социальных объектов, чем общих механизмов, определяющих социальные процессы; во-вторых, имитационная модель предполагается включенной в контур управления моделируемого социального объекта (проигрывание конкретных ситуаций для принятия решений, прогноза последствий и т.п.).

В связи с этим проектирование, разработка и эксплуатация имитационной модели связаны с синтезированием существенно различного рода социологических знаний, теорий и данных, традиционно содержащихся в различных сферах социологии (например, представлений о социально-демографических, социально-экономических и социально-психологических механизмах социальных процессов). Следует заметить, что сама задача синтеза разных сфер социального определяет специфическую проблематику анализа этих выделенных сфер.

В соответствии с задачами синтеза знаний математическая основа имитационной модели скорее всего представляет собой синтез различных математических моделей. Выделенные особенности имитационного моделирования в социологии определяют в качестве средства моделирования не столько класс математических методов, сколько класс языков моделирования (с учетом ориентирования на ЭВМ — языков программирования), и в этом смысле, развиваясь, имитационная модель может рассматриваться как составная часть экспертной системы.

Рассмотрим некоторые из обсуждаемых нами вопросов на конкретном примере. С 1976 по 1985 гг. отдел социологических исследований труда Института философии АН УССР проводил изучение источников воспроизводства структуры трудовой занятости населения крупного города [11]. Результаты исследования подтвердили гипотезу о том, что наиболее существенную роль в профессионально-квалификационном самоопределении молодежи играет родительская семья (точнее, социальный тип семьи). Репрезентативные опросы занятого населения Киева, проведенные в 1979 и 1985 годах, показали, что в семьях различного социального типа формируются неодинаковые трудовые ориентации

детей и что выходцы из разных социальных слоев населения по-разному участвуют в заполнении рабочих мест разных типов. Вспомогательным, но важным результатом исследования была сама методика выделения социальных типов семьи. Исследование дало возможность внести предложения по улучшению планирования путем совершенствования статистики трудовых ресурсов, в частности, были предложены показатели, характеризующие долю участия различных слоев населения (типов семьи) в формировании рабочей силы разного качества (квалифицированности).

Полученные результаты предполагают, что лицо, принимающее решение, анализирует информацию, выраженную в предложенных нами показателях, опираясь на свой опыт и интуицию, а также сопоставляет данные о социальных источниках воспроизводства трудовых ресурсов с другими доступными ему данными. В этом смысле полученные результаты фрагментарны (как и данные подавляющего большинства социологических исследований, проводимых в стране), они содержат мало информации, необходимой для принятия решений, лицу, принимающему решение. Более технологичными были бы средства принятия решений, основанные на модели, описывающей весь процесс воспроизводства трудовой занятости и включающей все существенные и доступные формализации показатели, необходимые для принятия решений.

В качестве первого приближения к решению этой задачи нами разработана первая версия имитационной модели воспроизводства социальной структуры населения г.Киева ("Труд-1"), которую можно рассматривать в качестве относительно самостоятельного блока более общей модели развития города. Строго говоря, в приведенной ниже модели рассматривается воспроизводство профессионально-квалификационной, а не социальной структуры Киева, но, во-первых, эти различия являются основой социальных различий [11], во-вторых, механизм воспроизводства профессионально-квалификационных групп совпадает с механизмом воспроизводства групп социальных.

2. ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ВОСПРОИЗВОДСТВА СОЦИАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ НАСЕЛЕНИЯ г.КИЕВА

Цель модели. Модель предназначена для прогнозирования социальных последствий принятия решений о структуре рабочих мест и видов учебных заведений. Кроме того, с ее помощью могут осуществляться прогнозы сбалансированности структуры рабочих мест и рабочей силы при изменении рождаемости, уровня миграции, правил приема в высшие, средние специальные и средние учебные заведения, пенсионного законодательства, а также привлекательности различных видов рабочих и учебных мест для населения города. На основе данной модели может быть разработана модель для прогноза численности и социально-демографи-

ческих характеристик трудовых ресурсов при долгосрочном прогнозировании (в том числе и для прогноза рождаемости), а также модель для прогнозирования ценностных ориентаций различных категорий населения города.

Структура модели. Модель состоит из элементов 4 видов, отличающихся по степени общности. Элементы 1-го вида (или 1-го уровня, отличающегося наиболее высокой степенью общности) включают основные подсистемы системы воспроизводства трудовых ресурсов города: рождение и социализация, подготовка кадров, народное хозяйство и пенсия. Элементы 2-го вида (2-го уровня) включают блоки каждой из подсистем: типы семьи, виды учебных заведений, типы рабочих мест, пенсию (в данном варианте модели не выделяются типы пенсионеров). Элементы первых двух уровней и связи между ними изображены на рис. 12. Для удобства обозначения переменных модели каждый из блоков имеет аббревиатуру, состоящую из одной буквы. Приведем перечень введенных обозначений.

Название подсистемы	Название блока	Обозначение
1. Рождение и социализация (типы семей)	1. Семьи рабочих (в ранее введенных обозначениях ГФ-1,2; ГФ-3,4)	Р
	2. Семьи служащих (ГУ-1,2)	С
	3. Семьи интеллигенции (ГУ-3)	И
	4. Семьи колхозников (СФ)	К
2. Подготовка кадров (виды учебных заведений)	1. Неполное среднее образование (лица без среднего образования)	Б
	2. Средняя школа	Ш
	3. Профессионально-техническое училище	П
	4. Техникум	Т
	5. Вуз	В
3. Народное хозяйство (типы рабочих мест)	1. Умственный труд, требующий высшего образования	У
	2. Нефизический труд и умственный труд, не требующий высшего образования	Н
	3. Физический труд	Ф
4. Пенсия	1. Пенсия	—

Элементы 3-го вида (уровня) представляют собой возможные этапы трудового пути жителей города, трудовые биографии. Трудовая биография определяется последовательностью блоков, в которых находился индивид на разных этапах своего трудового пути с указанием времени пребывания в каждом блоке (стажа). Фактически, такая информация содержится в трудовой книжке или листке по учету кадров. Обозначим биографию последовательностью букв, принятых в качестве аббревиатуры блоков модели с указанием в скобках стажа пребывания в каждом блоке в годах. Например, трудовую биографию Р/7/Б/8/П/3/

Ф/2/В/5/У/4/ имеют лица из семей рабочих, окончившие неполную среднюю школу, затем ПТУ, отработавшие после ПТУ два года на рабочих местах физического труда и поступившие затем в вуз, а в настоящее время работающие на рабочих местах, требующих высшего образования, причем стаж работы — 4 года.

Поскольку таких биографий может быть очень много, в данном варианте модели приняты соглашения, позволяющие сократить их число. Во-первых, учитывается лишь последний вид образования (если, например, данный респондент после ПТУ закончил вуз, то учитывается лишь вуз). Во-вторых, учитываются не все трудовые перемещения, а лишь настоящее и предыдущее место работы. Таким образом, код каждой биографии состоит из четырех букв: тип семьи, вид образования, тип предыдущего и тип настоящего рабочего места. Для пенсионеров добавляется пенсия. В-третьих, стаж для типов рабочих мест объединяется в три группы: до 10 лет (обозначим латинской буквой *a*), от 11 до 20 лет (*b*) и больше 20 лет (*c*). Таким образом, приведенный выше пример записи биографии приобретает следующий вид: РВУ (*a*). Неполная средняя школа и ПТУ не указаны, так как указывается лишь последнее место учебы, а работа на рабочем месте физического труда не указана, так как учитывается лишь пребывание в предыдущем блоке, в данном случае это вуз.

Наконец, элементы 4-го вида (уровня), являющиеся составными частями элементов 3-го уровня, получают путем деления лиц, имеющих биографию данного типа, на возрастные группы. Поскольку тип биографии (включающий социальное происхождение, образование и профессионально-квалификационную группу занятости) определяет, фактически, социальную группу или, точнее, социальную категорию, то элементы 4-го уровня целесообразно назвать социально-возрастными категориями. В модели рассмотрены годовые когорты от 15 (окончание неполной средней школы) до 100 лет (число лиц старше 100 лет незначительно и им можно пренебречь). Данные о лицах до 15 лет являются как бы внешними для модели и используются в качестве прогноза, необходимого для функционирования модели. Теоретически число социально-возрастных категорий, использованных в модели, более десяти тысяч, практически несколько меньше, так как разные типы биографий имеют различное распределение по возрастным категориям (например, лица до 20 лет, имеющие высшее образование, практически отсутствуют в распределении окончивших вузы города).

Таким образом, модель имеет иерархическую структуру и состоит из элементов четырех уровней: подсистем, блоков, трудовых биографий и социально-возрастных групп. Элементы высшего уровня состоят из элементов низшего уровня. Четвертый уровень является низшим, его элементы (социально-возрастные категории) являются теми "кирпичиками", из которых построены остальные элементы модели, поэтому на них должны быть определены связи, которые в совокупности с

элементами и образуют структуру модели. Однако в версии модели "Труд-1" из-за отсутствия необходимой эмпирической информации связи между элементами модели задаются на элементах 3-го уровня — трудовых биографиях, а затем экстраполируются на элементы 4-го уровня. Связь показывает, что от данной трудовой биографии можно перейти к той или иной биографии, коэффициенты перехода (см. ниже описание работы модели) показывают, какая доля лиц данной биографии переходит к другой биографии. Эти данные о связях могут быть обобщены и на элементы 2-го уровня (см. рис. 9), стрелка показывает,

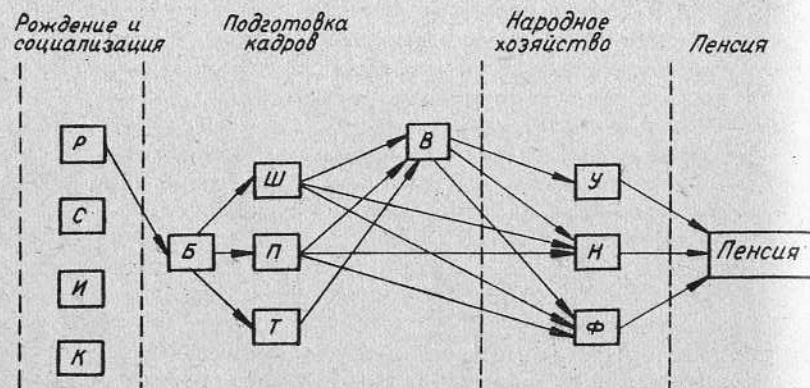


Рис. 9. Структура имитационной модели трудовой мобильности населения г. Киева "Труд-1" (фрагмент)

из какого блока в какой возможен переход. Вообще можно считать, что переход возможен из любого блока в любой другой, но некоторые коэффициенты перехода равны нулю. На данном рисунке не показаны также возможные миграционные потоки (хотя большая часть мигрантов фиксируется благодаря введению типа семьи (К), к которому относятся лица, проживающие до 15-летнего возраста в сельской местности).

Информационное обеспечение модели. Для получения информации, необходимой для работы модели, использованы данные социологического исследования занятого населения г. Киева¹, а также данные городской статистики. Эта информация может быть представлена в виде набора следующих таблиц (в силу громоздкости приводим лишь их фрагменты).

¹ Исследование проведено отделом социологических исследований труда Института философии АН УССР в 1985 г. под руководством В.Ф.Черноволенко. Оно включало репрезентативный для занятого населения Киева опрос работающих (отбор — по избирательным спискам, затем почтовый опрос с довыборкой из числа неответивших и опросом по месту жительства). Всего опрошено около 5000 человек [11].

Таблица 1. Основная таблица или таблица исходного состояния

Возраст	Тип семьи													
	Семья рабочих										... Семья колхозников			
	Тип биографии										... Тип биографии			
	РШ		РШВ			РШВУ					... КПФ		Пенсия	
	Стаж										... Стаж			
	1	2	1	2	3	4	5	а	в	с	...	а	в	с
15											...			
16											...			
...											...			
100											...			

Таблица 1 заполняется путем анализа ответов на вопросы о профессии, работе и образовании респондентов, аналогичных вопросах об их родителях, вопросах о возрасте и месте проживания респондентов до 15-летнего возраста. В клетках таблицы стоят численности социально-возрастных групп n_{ij} , где i — номер возрастной, а j — номер социальной группы (т.е. номер типа трудовой биографии). Эти численности можно получить путем умножения доли социально-возрастной категории в выборке на численность занятого населения города. Поскольку в опросе 1985 года учащиеся не опрашивались, численности учащихся в различных типах учебных заведений, взятые из ведомственной статистики, сложно "разнести" по типу семьи: типология социального происхождения, используемая в статистике (рабочие, служащие, колхозники), несколько отличается от требующейся для работы модели. В версии "Труд-1" доли лиц из разных типов семьи, обучающихся в тех или иных видах учебных заведений, взяты из данных городского опроса (по возрастным когортам работающей молодежи). Однако эти доли характеризуют ситуацию, сложившуюся 5–10 лет назад, поэтому в условиях развития профтехобразования и изменения сложившейся здесь ситуации полученные нами оценки могут оказаться ненадежными. Для уточнения этих оценок требуется специальное исследование.

В клетках таблицы стоят коэффициенты P_{ij} , показывающие, какая доля лиц, имеющих биографию типа i в году t , переходит к биографии типа j в году $t + 1$. В отличие от классических марковских моделей коэффициенты перехода не являются постоянными, не являются они также заранее заданной функцией от времени i [12, с.25, 29, 46]: они изменяются в зависимости от соотношения числа претендентов и численности рабочих и учебных мест (см. алгоритмы расчета). Матрица переходов, как и основная таблица, задается в качестве исходного состояния на начальный период времени (в модели "Труд-1" на 1985 год).

Таблица 2. Матрица переходов

Тип трудовой биографии	Тип трудовой биографии									Пенсия
	РБФ			РБН			РШ			
	а	в	с	а	в	с	1	2	...	
	1	2	3	4	5	6	7	8	...	
Р	1									
С	2									
И	3									
К	4									
РБФ а	5									
в	6									
...										
Пенсия										

Это принципиальное отличие, демонстрирующее преимущества имитационных моделей по сравнению со стохастическими и регрессионными. Введение такого рода зависимостей, естественное для имитационных моделей, было бы крайне сложно осуществить с помощью марковской или регрессионной модели.

Таблица 3. Демографический прогноз

Годы	Тип трудовой биографии									Пенсия
	Р	С	И	К	РШ	РШВ	РШВУ	...		
	1	2	3	4	5	6	7	...		
1985										164
1986										
1987										
...										

В клетках таблицы 3 стоят показатели $\pm \Delta m_i(t)$, показывающие, на какую величину изменятся численности лиц с данным типом трудовой биографии i в году t за счет миграции (+ и — соответствуют увеличению и уменьшению указанных численностей соответственно). Для общности в таблице приведены также типы семьи, которые можно рассматривать как первые четыре типа трудовой биографии (в строке 1985 стоит численность школьников, заканчивающих 8-й класс общеобразовательной средней школы, в остальных строках — прогноз этой численности на другие годы). Демографические прогнозы рождаемости и миграции являются внешними для модели, хотя первый из них может быть получен путем некоторого расширения модели (см. направления дальнейшей работы). Было бы целесообразно включать данную модель в качестве подсистемы более общей модели (см. § 2 данной главы), чтобы увязать прогноз миграции с характеристиками баланса трудовых ресурсов и рабочих мест города.

Таблица 4. Плановая численность рабочих и учебных мест

Год	Учебные места				Рабочие места		
	Ш	П	Т	В	Ф	Н	У
1985							
1986							
1987							
...							

В клетках таблицы стоит планируемая численность учебных и рабочих мест $di(t)$ ($i = Ш, П, Т, В, Ф, Н, У$) в году t . Эти показатели рассматриваются в модели как управляющие воздействия.

Таблица 5. Удовлетворенность работой

Возраст	Тип трудовой биографии								
	РБФ	РБН	РШФ	РШН	РПФ	РПН	...	КВН	КВУ
	17	18	19	20	21	22	...	162	163
18									
19									
...									
90									

В клетках таблицы 5 стоят баллы U_{ij} , характеризующие удовлетворенность работой представителя i -й возрастной группы, имеющего биографию j -го типа. Удовлетворенность рассчитывается по данным упомянутого опроса населения как средний балл удовлетворенности работой респондентов данной социально-возрастной группы. Предполагается, что удовлетворенность зависит от характеристик лиц, занимающих данный тип рабочих мест, и характеристик самих рабочих мест. Компромисс между притязаниями выходцев из различных социальных групп и возможностями удовлетворения этих притязаний, представляемых обществом, реализуется в трудовой биографии.

Проведенные в 1979 и 1985 годах опросы дают основание полагать, что введенные типы биографий достаточно полно учитывают факторы, детерминирующие удовлетворенность. В версии модели "Труд-1" коэффициенты U_{ij} не изменяются во времени (тем самым предполагается, что изменение удовлетворенностей за счет изменения структуры рабочих мест, структуры типов семей и видов образования значительно более существенно, чем общие, фоновые изменения удовлетворенности, не зависящие от указанных изменений²). В данной версии не рассматриваются также удовлетворенности учебой (поэтому таблица 5 является как бы подмножеством таблицы 1, в которой удалены крайние

² Такого рода изменения могут, например, произойти в результате работы средств массовой информации, формирующей завышенные притязания, что может привести к фоновому снижению удовлетворенности.

возрастные группы, биографии учащихся из разных типов семьи и показатели n_{ij} заменены на U_{ij}). Аналогичный вид имеют таблицы 6, 7 и др., предназначенные для расчета показателей, связанных с выбором того или иного типа рабочих мест: удовлетворенность содержанием труда, размером зарплаты, возможностью повышения квалификации и т.д.

Прогнозируемые показатели. В модели рассчитываются две группы выходных показателей: показатели баланса и показатели удовлетворенности.

Показатели баланса включают:

а) баланс численности лиц, переходящих из подсистемы "рождение и социализация" в подсистему "подготовка кадров", и численности вакансий в системе "подготовка кадров"; поскольку в подсистему "рождение и социализация" включены учащиеся 8-го класса общеобразовательной школы, речь идет о том, что все выпускники 8-го класса должны быть приняты на учебу в 9-й класс общеобразовательной школы, в ПТУ или техникум, как это предусмотрено законом о всеобщем среднем образовании;

б) баланс численности лиц, переходящих из подсистемы "подготовка кадров" в подсистему "рабочие места", и численности вакансий в последней. Этот баланс, фактически, разбивается на два баланса, реализующих право на труд выпускников школ и ПТУ, техникумов и выпускников вузов. Численность выпускников школ, ПТУ и техникумов одного года должна быть не выше численности вакансий в вузе и в подсистеме "народное хозяйство" в целом, а численность выпускников вуза должна быть не выше числа вакансий в блоке "рабочие места умственного труда, требующего высшего образования" (у);

в) баланс числа претендентов и числа вакансий по каждому из блоков модели. Если предыдущие два баланса рассчитываются для модели в целом, то данный баланс рассчитывается для каждого блока модели, входящего в подсистему "подготовка кадров" и "рабочие места". Число претендентов рассчитывается в соответствии с первоначально заданными показателями перехода (таблица 2). Если при этом оказывается, что для какого-то из блоков число претендентов больше числа вакансий, то показатели перехода R_{ij} пересчитываются в соответствии с приведенными ниже алгоритмами. Показатели же отношения числа претендентов к числу вакансий являются выходными для модели, они характеризуют конкурс, привлекательность данного блока для жителей города;

г) степень заполненности блоков модели; рассчитывается как отношение числа лиц, находящихся в данном блоке, к плановому числу мест в блоке. Для учебных мест этот показатель характеризует сбалансированность численности учащихся и числа учебных мест, для рабочих мест — баланс рабочих мест и рабочей силы. В отличие от предыдущего этот показатель (тоже рассчитываемый по каждому блоку) не может быть больше единицы, так как в этом случае в соответствии с приведен-

ными выше алгоритмами модель "устраивает" лиц, которым не хватило мест в данном блоке, на учебные или рабочие места других типов.

Балансы а) и б), прогнозируемые моделью, показывают, какие недостатки существуют в плановых показателях числа рабочих и учебных мест, какие рабочие и учебные места должны быть введены в обязательном порядке (иначе будет нарушено законодательство). Показатели баланса в) и их динамика дают возможность определить привлекательность и ее динамику по каждому блоку модели, выявить узкие места, вызывающие наибольшую напряженность и приводящие к повышению доли лиц, не удовлетворенных выбором профессии, места работы или учебы. Баланс г) дает возможность определить блоки, по которым планируется перепроизводство учебных или рабочих мест.

Показатели удовлетворенности включают:

а) удовлетворенность работающего населения города своей работой в целом и отдельными сторонами работы, в частности, содержанием труда, режимом труда, размером зарплаты, возможностью повышения квалификации, отношениями с коллегами и руководителем, удаленностью работы от места жительства, обеспеченностью детскими садами и яслями и возможностью улучшения жилищных условий;

б) удовлетворенность работающего населения города своей жизнью в целом и некоторыми сторонами жизни, которые могут быть связаны с удовлетворенностью работой, в частности, удовлетворенность уровнем материальной обеспеченности, условиями для творческих занятий на досуге, возможностью учиться, повышать образование, удовлетворенность жизнью вне работы в целом, а также удовлетворенность тем, что работник дает, и тем, что получает от общества.

Удовлетворенности рассчитываются для населения в целом, а также для любых групп работающего населения, интересующих исследователя, в частности, отдельно для выходцев из каждого типа семьи, для выпускников каждого вида учебного заведения, для различных возрастных категорий и т.п. Кроме того, удовлетворенности могут рассчитываться отдельно для каждого типа рабочих мест.

Управляющие воздействия. Модель предназначена, прежде всего, для прогнозирования последствий принятия решений о структуре рабочих и учебных мест. Но при принятии некоторых допущений может использоваться также для изучения влияния некоторых других факторов на выходные показатели модели. Управляющими воздействиями могут быть, собственно, любые изменения в таблицах 2, 3, 4 и 5, так как показатели этих таблиц задаются исследователем, а не рассчитываются в ходе работы модели (лишь данные таблицы 1 не могут использоваться в качестве управляющих воздействий, так как они отражают не план или прогноз, а реальность, исходное состояние)³. Приведем перечень возможных управляющих воздействий:

³ Впрочем в исследовательских целях может быть поставлен вопрос "Что было бы, если бы в Киеве была другая структура труда в 1985 г.?"

а) изменение плановой численности учебных и рабочих мест;
 б) изменение рождаемости;
 в) изменение численности работников в миграционных потоках;
 г) изменение законодательства, связанного с приемом в учебные заведения. Такого рода изменения, например, введение обязательного стажа для поступления в вуз, введение каких-либо льгот при поступлении, изменение сроков обучения в тех или иных видах учебных заведений, приводят к изменению коэффициентов перехода P_{ij} (таблица 2);
 д) изменение пенсионного законодательства (сроков ухода на пенсию для лиц, работающих на тех или иных видах рабочих мест, разрешения на совместительство и т.п.), тоже приводящее к изменению коэффициентов матрицы перехода P_{ij} ;

е) изменение привлекательности различных видов рабочих и учебных мест. Такие изменения сказываются на коэффициентах перехода, увеличивая или уменьшая число претендентов на учебные и рабочие места (в соответствии с изложенными ниже алгоритмами в модели рассчитывается сначала число претендентов, а затем число лиц, реально перешедших из одного блока в другой). Изменение привлекательности меняет также удовлетворенность работой и ее различными характеристиками.

Если первое и отчасти второе и третье управляющие воздействия могут непосредственно использоваться в работе модели, то при определении влияния последних трех управляющих воздействий на выходные показатели модели необходимы опосредующие звенья. На данных эмпирических исследований или путем экспертизы нужно определить, каким образом изменение законодательства или изменение привлекательности рабочих и учебных мест скажется на данных, приведенных в таблицах 2–5.

Работа модели (алгоритмы расчета выходных показателей). Имитация процессов воспроизводства структуры занятости происходит в три этапа. Рассмотрим последовательно каждый из них.

1 этап. Расчет числа претендентов на переход в данные блоки модели. Включает две процедуры.

Процедура 1. Старение населения. С шагом в один год (как и все другие процедуры модели) осуществляется перерасчет численности каждой возрастной когорты (в версии "Труд-1" без учета смертности). Численность каждой социально-возрастной категории в году t по данным предыдущего года осуществляется по формуле:

$$n_{ij}(t) = n_{i-1,j}(t-1), \quad (1)$$

где $n_{ij}(t)$ — численность социально-возрастной категории в году t ; i — номер возрастной категории; j — номер типа трудовой биографии.

Входной для данной процедуры является таблица 1, выходной такая же таблица, но в году t , а не $t-1$.

Процедура 2. Расчеты численности претендентов на изменение типа

биографии. В версии "Труд-1" переходы определяются на биографиях, а не на социально-возрастных категориях, поэтому предварительно производится расчет численности $n_j(t)$ лиц с данной биографией j в году t :

$$n_j(t) = \sum_{i=1}^T n_{ij}(t), \quad (2)$$

где T — число возрастных групп (в данной версии $T=85$).

Численности лиц, меняющих биографии, определяются по формулам:

$$r_i(t) = \sum_{j=1}^K n_i(t) p_{ij} = n_i(t) \sum_{j=1}^K p_{ij}, \quad (3)$$

$$s_j(t) = \sum_{i=1}^K n_i(t) p_{ij}, \quad (4)$$

где $r_i(t)$ — численность уходящих из биографии i -го типа; $s_j(t)$ — численность приходящих в биографию j -го типа; K — число типов биографии (в версии "Труд-1" $K=164$). Численность лиц, имеющих биографию типа j , изменится на величину $\Delta n_j(t)$, зависящую от числа приходящих, уходящих из числа жителей города, а также от изменений за счет миграции $\Delta m_j(t)$:

$$\Delta n_j(t) = r_j(t) - s_j(t) + \Delta m_j(t). \quad (5)$$

Тогда численность лиц, имеющих биографию типа j , определится путем добавления к возрастным изменениям (см. формулы 1 и 2) изменений за счет перемещений:

$$n_j(t) = n_j(t) + \Delta n_j(t). \quad (6)$$

Процедура 3. Расчет численности претендентов на переходы в блоки модели. В предыдущей процедуре осуществлялся переход от элементов модели нижнего, 4-го, уровня к третьему уровню — трудовым биографиям. Аналогичным способом можно перейти к элементам 2-го уровня — блокам модели, суммируя типы биографий, входящих в один блок. Обозначим через $\tilde{r}_i(t)$, $\tilde{s}_i(t)$, $\tilde{n}_i(t)$ численность лиц, уходящих из данного блока, приходящих в него, а также прогноз численности в данном блоке в году t соответственно ($i = P, C, И, K, Б, III, \dots, \Phi$). Полученный прогноз положения дел в году t по данным предыдущего года получен при предположении стабильности коэффициентов перехода P_{ij} , с реальным распределением потоков трудовых ресурсов по типам рабочих мест он совпадает только при стабильности соотношения числа претендентов и числа вакансий, при стабильности привлекательности различных типов рабочих мест и т.п., т.е. при сохранении ситуации, при которой рассчитывались коэффициенты P_{ij} . При изменении ситуации прои-

зойдет перераспределение претендентов, которое рассчитывается на втором этапе каждого шага работы модели.

2-й этап. Проверка балансов и расчет потоков трудовых ресурсов.

А. Проверка общего баланса. Как указывалось в разделе данного параграфа, посвященном рассмотрению прогнозируемых показателей, необходима проверка нескольких видов баланса: численности выпускников 8-го класса и численности вакансий в общеобразовательной школе, ПТУ, техникуме; численности выпускников школ, ПТУ и техникумов и числа вакансий в вузе и подсистеме "народное хозяйство" в целом; численности выпускников вузов и числа имеющихся для них вакансий. Число вакансий в i -м блоке определяется по формуле (обозначения те же):

$$v_i(t) = d_i(t) - \tilde{n}_i(t) + \tilde{s}_i(t), \quad (7)$$

где $v_i(t)$ — число вакансий в i -м блоке модели в момент времени t ; $d_i(t)$ — плановая численность (объем) блока i (задается таблицей 4).

Если выходы (потоки претендентов) k блоков модели должны быть сбалансированы со входами l блоков (вакансиями), то проверяется условие:

$$\sum_{i=1}^k \tilde{r}_i(t) \leq \sum_{i=1}^l v_i(t). \quad (8)$$

Например,

$$\tilde{r}_B(t) \leq v_{III}(t) + v_{II}(t) + v_T(t). \quad (8a)$$

Если обнаруживается дисбаланс, причем число претендентов больше числа вакансий, то выпечатывается сообщение об этом. Для осуществления дальнейшей работы модели предполагается, что необходимые рабочие и учебные места будут открыты, поэтому производится перерасчет планируемой численности учебных и рабочих мест каждого типа:

$$\delta(v) = \sum_{i=1}^k \tilde{r}_i(t) - \sum_{i=1}^l v_i(t), \quad (9)$$

$$d'_i(t) = d_i(t) + \gamma_i(t) \delta(v), \quad (10)$$

где $\delta(v)$ — недостающая численность учебных или рабочих мест; $d'_i(t)$ — новые плановые численности рабочих и учебных мест, введенные для ликвидации дисбаланса; $\gamma_i(t)$ — коэффициенты, рассчитываемые в специальной процедуре ($i = 1, 2, \dots$), $\sum \gamma_i(t) = 1$, $0 \leq \gamma_i \leq 1$. Коэффициенты $\gamma_i(t)$ реализуют управляющее воздействие по увеличению численности рабочих или учебных мест, они характеризуют структуру вновь вводимых вакансий. При отсутствии специальных управляющих воздействий модель распределяет вакансии в соответствии с предположением о сохранении структуры учебных или рабочих мест:

$$\gamma_i(t) = \frac{\tilde{n}_i(t)}{\sum_{i=1}^l \tilde{n}_i(t)}. \quad (11)$$

Б. Проверка баланса по каждому блоку модели. При общей сбалансированности может оказаться, что для некоторых блоков число претендентов превышает число вакансий. В этом случае аналогично предыдущему определяется размер этого превышения, но ликвидируется дисбаланс уже не путем добавления вакансий, а путем перераспределения претендентов (т.е. фактически, путем изменения коэффициентов P_{ij}). Перераспределение осуществляется в специальной процедуре, реализующей те или иные гипотезы

$$\tilde{s}_i(t) \leq v_i(t); \quad (12)$$

$$\delta s_i(t) = \tilde{s}_i(t) - v_i(t); \quad (13)$$

$$\tilde{s}'_i(t) = \tilde{s}_i(t) + \alpha_i(t) \left(\sum_{i=1}^l \delta \tilde{s}_i(t) \right). \quad (14)$$

Например, перераспределение может осуществляться в соответствии с гипотезой о "стремлении" потока претендентов сохранить свою структуру, поэтому $\alpha_i(t)$ могут быть пропорциональны этой структуре. Такой перерасчет не даст баланса с первой итерации, поэтому проверка баланса повторяется, рассчитываются новые изменения и так несколько итераций до реализации условия (12) для всех блоков.

В результате 2-го этапа расчетов получены численности $n_i(t)$ для каждого типа биографий. По ним осуществляется перерасчет P_{ij} для данного шага работы модели, что дает возможность вернуться к элементам модели низшего уровня: коэффициент, полученный для данного типа биографии, используется для расчета переходов на социально-возрастных категориях, входящих в биографию данного типа. В итоге получаем таблицу 1 с показателями $n_{ij}(t)$, учитывающими и постарение населения и трудовую мобильность.

3-й этап. Расчет удовлетворенностей. Показатели удовлетворенности заданы в таблице 5 для каждой социально-возрастной категории, поэтому общая удовлетворенность может быть получена почленным перемножением таблицы 1 и таблицы 5 и затем суммированием по всем элементам или по тем или иным биографиям или блокам:

$$U(t) = \frac{\sum_i \sum_j U_{ij}(t) n_{ij}(t)}{\sum_i \sum_j n_{ij}(t)}. \quad (15)$$

Перечень удовлетворенностей, по которым производились расчеты, приведен выше.

Указанные этапы проводятся для расчетов на каждом шаге модели. На каждом следующем шаге могут использоваться либо исходные ко-

эффективности перехода, заданные таблицей 2, либо коэффициенты, полученные на предыдущем шаге после перерасчетов, связанных с ликвидацией дисбалансов.

Программная реализация модели "Труд" осуществлена с помощью пакета прикладных программ, предназначенного для программной поддержки модели "Труд" (ППМТ). В соответствии с задачами модели пакет ППМТ представляет программисту средства для выполнения следующих функций:

1. Конструирование имитационного механизма, которое включает:

1.1. Определение структуры базовых элементов (социальных, экономических и т.п. определений), которые являются неделимыми с точки зрения выбранного уровня модели (в версии "Труд-1" — социально-возрастные категории).

1.2. Определение структуры переходов на базовых элементах и способа их задания.

2. Актуализация модели "Труд", которая включает:

2.1. Определение способов задания начальных и граничных условий модели (начальные и граничные условия могут быть заданы не в терминах базовых элементов и тогда определяется способ перехода от заданных условий к соответствующим условиям на базовых элементах).

2.2. Задание начальных и граничных условий.

3. Определение выходных параметров модели, т.е. того, что и в какой форме должно печататься при вычислительном эксперименте.

4. Проведение вычислительного эксперимента.

В результате выполнения функций 1.1, 1.2 и 2.1 средствами ППМТ разрабатывается версия программной модели "Труд".

ППМТ реализован средствами специализированного комплекса программы "Комплекс-2", который предназначен для конструирования исследовательских пакетов прикладных программ анализа данных. Комплекс реализован в среде "ДОО" и в среде "ОО" ЕС ЭВМ, имеются версии для машин М-4030, ЕС-1050.

Функциональные возможности ППМТ определяются, естественно, средствами и технологией комплекса: "Комплекс-2" включает:

- средства для создания архивов на ЭВМ;
- исходный набор объектов и средства для создания новых типов объектов;
- язык включения программного модуля в разрабатываемый пакет (средства разработки процедур);
- язык сборки процедур в вариант анализа данных (алголоподобный язык программирования, включенный в среду комплекса).

Рассматриваемая версия ППМТ представляет собой набор процедур манипулирования над таблицами и набор вариантов анализа входных таблиц этими процедурами.

Эксперименты с моделью. Первые эксперименты, проведенные с моделью, связаны с оценкой влияния миграции на социальные послед-

ствия развития структуры занятости населения, в частности, на удовлетворенность работающего населения города работой и жизнью в целом. С этой целью показатель удовлетворенности был преобразован таким образом, чтобы он равнялся — 100 % в том случае, если все респонденты указывают, что они полностью не удовлетворены, и + 100 %, если все респонденты указывают, что полностью удовлетворены (работой, жизнью и другими элементами рабочей и жизненной ситуации). Период прогнозирования был определен в 18 лет и связан с возрастом начала трудовой деятельности: данные о числе родившихся в данном году и о числе лиц в каждой годовой когорте от 1 до 17 лет позволяют получить прогноз числа вступающих в трудовую жизнь на 18 лет. При использовании прогноза рождаемости прогнозный период модели можно увеличить.

Проведенные на ЭВМ вычислительные эксперименты показали, что при стабильности существующих темпов миграции и структуры рабочих мест удовлетворенность работающего населения города работой и жизнью в целом в период с 1985 по 2003 год останутся стабильными и составят приблизительно 37 % (удовлетворенность работой) и 28 % (удовлетворенность жизнью в целом). Если же учесть постоянный рост уровня притязаний, удовлетворенность работой и жизнью будут падать (темпы падения зависят от роста уровня притязаний).

Если же сохранить существующую структуру рабочих мест и ликвидировать миграцию из села в город (такое предположение, разумеется, нереалистично, но позволяет более четко показать имеющиеся тенденции), то рабочие места, которые раньше заполняли преимущественно выходцы из семей колхозников, станут заполнять выходцы из семей рабочих и служащих. Вычислительный эксперимент, проведенный в предположении, что пропорции заполнения вакансий сохраняются, дал следующий прогноз: удовлетворенность работой с 1985 по 2003 год упадет с 36,7 до 27,7 %, а удовлетворенность жизнью — с 28 до 22,7 %, т.е. удовлетворенность работой снизится на 9,0, а жизнью — на 5,3 %. Если же учесть рост уровня притязаний, то падение удовлетворенности работой и жизнью в целом будет значительно более существенным. Такое положение не соответствует основным направлениям развития нашей страны на этот период и должно компенсироваться изменением структуры рабочих мест. Отметим, что так как падение (или, по крайней мере, стабильность) удовлетворенностей характерно для сложившейся ситуации даже в том случае, если миграция из села в город остается на уровне 1985 года, изменение структуры рабочих мест (прежде всего, повышение уровня квалифицированности труда) должно быть весьма существенным — ведь уровень миграции из села в город будет падать. Отсюда также следует, что мероприятия по ограничению миграции в город Киев должны быть согласованы с темпами технического перевооружения и изменения структуры рабочих мест.

Разработка модели позволяет сделать также методические выводы, приведем примеры некоторых из них.

Предположим, что требуется оценить последствия решений по уменьшению набора студентов в вузе (как это предусмотрено проектом "Основные направления перестройки высшего и среднего специального образования в стране"). Есть проект плановой численности студентов техникумов, вузов, а также рабочих мест разных типов на период 1986–2000 год, предусматривающий, например, уменьшение вдвое приема в вузы и техникумы, начиная с 1987 года. При этом окажется, что в 1987 году численность претендентов на поступление в техникум и вуз вдвое превысит число вакансий. Те, кто не сможет поступить в техникум, пойдут в ПТУ или в 9-й класс средней школы, а те, кто не поступит в вуз, пойдут работать. Но для того, чтобы имитировать это перераспределение, необходимо знать, за счет каких категорий школьников произойдут эти изменения. Если сейчас, например, около 70 % выходцев из семей интеллигенции поступает в вуз, то как изменится эта доля в новых условиях. Поскольку этот тип семей немногочислен, такая доля выходцев из него составит около 30 % от числа всех студентов вуза. Сохранится ли эта доля, уменьшится или увеличится? Другими словами, как изменятся соотносительные шансы на поступление в вуз для выходцев из разных типов семей? Оказалось, что такими данными, крайне важными для прогноза социальных последствий принятия решений о структуре рабочих мест, мы не располагаем, их получение не было предусмотрено программой исследований, проведенных отделом социологии труда Института философии АН УССР, не удалось их найти и в литературе.

Таким образом, при построении модели обнаружилось, что в программе исследований отсутствовали процедуры сбора информации, необходимой для использования предложенных исследователями показателей. Недостающую информацию на данном этапе пришлось "закладывать" в модель, опираясь лишь на интуитивные представления разработчиков.

Далее, эксперименты с моделью тоже выявили потребность в дополнительной эмпирической информации. Оказалось, например, что при существенных управляющих воздействиях удовлетворенность жителей города работой и жизнью меняется не очень существенно. Так, в описанном выше вычислительном эксперименте, предусматривающем полное ограничение внешней миграции, выяснилось, что показатели удовлетворенности работников жизнью и работой относительно стабильны. Анализ показал, что стабильность этих показателей связана с тем, что значительную роль в изменении удовлетворенности играет возрастная дифференциация, которая показывает стабильный рост удовлетворенности с возрастом независимо от типа семьи и типа биографии респондента.

Эта закономерность может быть объяснена с помощью двух гипотез: 1) увеличение возраста (следовательно, и общего стажа) сопровождается ростом квалификации, соответственным повышением заработной платы, ростом благосостояния, что и приводит к повышению удовлетворенности

ти: 2) у людей старшего возраста ниже уровень притязаний, чем у молодежи, поэтому выше удовлетворенность. Если верна первая гипотеза, то стабильность удовлетворенности соответствует реальному положению дел. Если верна вторая – нужно внести изменения в модель, учесть возрастание от поколения к поколению уровня притязаний. Были обнаружены также и некоторые другие пробелы, требующие проведения дополнительных эмпирических исследований.

Отметим, что алгоритм, имитирующий процесс старения населения, одновременно и параллельно сдвигает численности каждой строки вниз на одну строку (при этом могут учитываться показатели смертности и миграции). Этот механизм обеспечивает учет социально-демографических процессов, избавляет исследователя от необходимости держать в голове или описывать в модели многочисленные ограничения. Создаются также предпосылки для разделения и параллельной работы различных блоков модели, для совмещения модели с другими моделями (например, прогноза рождаемости и миграционных потоков). Исследователю же информация может выдаваться на любом уровне, в виде, удобном для интерпретации: для любых типов семьи, вместе и раздельно, по различным возрастным группам и т.п.

Наконец, отметим также следующее обстоятельство. При проведении социологических исследований для получения данных о процессе трудовой мобильности необходимо требуемую информацию представить в виде набора признаков (анкеты) таким образом, чтобы при анализе информации по признакам анкеты можно было бы рассчитывать таблицы одномерных и многомерных распределений. Например, для описания трудовой мобильности в анкету опроса 1985 г. были включены вопросы о профессии, образовании и уровне квалификации в начале трудового пути, в возрасте 30 лет, в возрасте 40 лет (для респондентов, которым уже исполнилось 30 или 40 лет), а также в момент опроса (см. Приложение). При этом большая часть информации о трудовом пути респондента в анкету не попадает. Полную информацию о трудовом пути можно было бы получить, предложив респондентам заполнить анкету типа листка по учету кадров, но обработка такой информации невозможна с помощью современного универсального программного обеспечения, нужны специальные программы. Между тем развитие представленного здесь подхода к моделированию процессов трудовой мобильности дает возможность решения проблемы информационного обеспечения модели естественным образом. Поскольку модель реализует некоторые социологические концепции, язык модели близок языку социологов. В частности, понятие трудовой биографии является одним из центральных в модели, поэтому операции с биографиями являются достаточно очевидным и логичным развитием модели.

Если в данной версии для "наполнения" модели понятие биографии было сведено к нескольким признакам (и при этом упущена большая часть информации), затем проведены опрос, обработка и "развертыва-

ние" полученной усеченной биографии путем имитации, то при правильной постановке дела следовало бы создать базу данных модели в виде более полных биографий (мы получили как бы граф биографий) и программное обеспечение, которое позволило бы перейти от базы данных к тому уровню обобщения, который интересует исследователя. Например, рис. 12 представляет собой не что иное, как сильно агрегированный граф возможных биографий жителей города.

Разумеется, разработанная в исследовании первая версия модели по необходимости является упрощенной, агрегированной и не учитывает ряд важных факторов, что ограничивает надежность полученных прогнозов. Эксперименты, которые проводятся с моделью в настоящее время, служат скорее для доработки модели, чем для управления социальными процессами в городе. Однако дальнейшее развитие модели может представить интерес для разработки перспективного плана социального и экономического развития Киева до 2000 года и для реализации целевой комплексной программы "Труд".

ГЛАВА V. СИНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД

1. СИСТЕМНЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ

В области методологии познания в настоящее время особое место занимает, как уже отмечалось ранее (например, глава 2), так называемое "системное движение", имеющее ряд направлений, среди которых основные следующие: общая теория систем, системный подход, системный анализ, философское осмысление системности мира. Поэтому разработка проблем представления объектов действительности в виде компьютерных моделей по существу опирается на ряд методов, которые в литературе принято называть системные, структурно функциональные, кибернетические. Они с разных сторон прокладывают пути к познанию мира и выступают в качестве общенаучных методов.

В досистемном, традиционном рассмотрении объектов основой их анализа являлась декомпозиция, при которой не определяли характеристики, свойственные системе в целом и не свойственные отдельным составляющим. Необходимым условием проведения системного анализа процессов стало использование вычислительной техники и достижений в тех научных областях, которые в настоящее время объединены в рамках Отделения информатики АН СССР (математика, кибернетика, системотехника и т.д.). В результате такого применения появилась основа для новой технологии анализа объектов в целом — имитационное моделирование (подробнее см. главу 4).

Построение обобщенных моделей изучаемых объектов и проигрывание на них различных сценариев получило, как известно, название вычислительного эксперимента. Однако в рамках познавательной деятельности человека экспериментальная процедура не исчерпывает все этапы научного исследования, сущность которого заключается в получении ранее неизвестных субъекту сведений о действительности. Этот результат достигается за счет реализации в целом таких научных процедур, как описание, измерение, эксперимент, объяснение, предсказание. Поэтому успешность прогноза (следовательно, и моделирования) в значительной мере определяется и тем, насколько корректно, всесторонне адекватно проведен этап описания. Вдоль уже не одно десятилетие специалистами по экономико-математическому моделированию ведется

работа по разработке средств достижения экономикой предприятия, отрасли, региона оптимального состояния. Однако многие, порой весьма значительные результаты, полученные в рамках указанного направления моделирования, пока еще не принесли такой эффект, который, в конечном итоге, вел бы к торжеству принципов социальной справедливости социалистического общества. Поэтому можно сделать вывод, что хотя и применялся системный анализ, само описание изучаемого объекта было системным только в узко ограниченном смысле — т.е. избранная для исследования конфигурация социально-экономической действительности не имела замыкания на высшие цели и ценности социалистического общества. В этой главе будет предпринят анализ возможных подходов к описанию объектов социальной сферы, для прогноза поведения которых следует разрабатывать имитационные модели.

При построении экономико-математических моделей сложилась традиция представлять проблему управления социально-экономическим развитием предприятия, отрасли, региона как проблему разработки оптимизационных моделей хозяйственной деятельностью звеньев общественного производства только в ресурсно-технологическом аспекте. Использование методов оптимизации тогда дает возможность смоделировать пути использования в общественном производстве ограниченных ресурсов — т.е. определить задания и нормативы эффективности их использования отдельными производственными звеньями (конечно, при условии наличия полной информации об их производственных мощностях). Предполагается, что реализация этих заданий позволит обеспечить наилучшие результаты функционирования народного хозяйства.

Однако при огромных масштабах хозяйственной деятельности в нашей стране вышеназванные результаты моделирования пока еще не могут быть достигнуты для каждого производственного звена путем исчисления таких плановых заданий и нормативов, которые бы жестко детерминировали все сферы деятельности: материально-техническое снабжение; использование работников, оборудования; воспроизводство основных фондов; производство продукции и т.д. По этим сферам производственным звеньям устанавливаются плановые задания, представленные в обобщенных экономических показателях. После определенного срока по ним оцениваются результаты работы, требуемые обществом от производственных звеньев. Как свидетельствует социально-экономическая действительность последних пятилеток, выполнение плановых директив, заданных в агрегированных показателях, осуществлялось различной по содержанию и свойствам хозяйственной деятельностью, зачастую противоречащей народнохозяйственной целесообразности. В этой связи предпримем попытку определить причины ограниченного успеха экономико-математического моделирования.

При разработке имитационных моделей сложодинамических объектов используются принципы системного анализа, согласно которым

выделяется конечная совокупность взаимодействующих компонент (процессов) как нечто целое. Для имитации принятия решения по управлению объектом необходимо: сформулировать цель функционирования этой целостности и множество альтернатив ее достижения, которые сопоставляются по определенным критериям, и в конечном итоге отобрать оптимальный для рассматриваемой ситуации способ управления. Основу же системного анализа составляют общая теория систем и системный подход.

В работе И.В.Блауберга и Э.Г.Юдина "Становление и сущность системного подхода" показано, что максимально развитую систему следует считать понятием полностью равнозначным понятию органическая система, в этот разряд попадают биологические, психологические, социальные, экономические, экологические и т.п. системы [1, с.179]. В диалектике органическая система имеет чисто логический смысл, давно разошедшийся с биологическими образцами и феноменами. Предприняв попытку сформулировать его подытоженную суть, Г.С.Батищев пишет, что "органическая система имеет в своей основе системообразующий принцип, доминирующее начало, которому она остается верна, несмотря ни на что. Всякое же инородное содержание, встречающееся вне системы и выступающее первоначально как ее предпосылка, т.е. как нечто самостоятельно сущее в своем своеобразии, будучи захвачено системой и ввергнуто внутрь ее, тем самым неизбежно подвергается снятию. Снятие означает категорическое, хотя и различной по степени своей жесткости, подчинение всякого снимаемого содержания системообразующему принципу снимающей системы. Значит, исходное самостоятельное своеобразие и своеобычная конкретность подвергаются в той степени "взятию в скобки", стиранию или даже деструкции, в какой это требует неизменное поддержание господства принципа. Удерживается в качестве чего-то приемлемого, "рационально значимого" и достойного сохранения только то, что предусмотрено, т.е. хотя бы косвенно и опосредованно предопределено логикой принципа..." [2, с.185].

Содержание функционального закона развертывания органических систем, следовательно, заключается в том, что детерминирующим началом системы является именно функция, организующая форму и структуру системы. Функция, таким образом, возникает не из самой рассматриваемой системы, а из того внешнего окружения, куда она включена. Если учесть, что всякая функция задается системе внутренним противоречием целостного процесса, включенного в более широкую и логически более древнюю органическую систему, то, очевидно, что для любой органической системы можно выделить детерминирующее ее целое, т.е. для всякой функционирующей системы можно указать соответствующую ей детерминирующую систему. Более того, такая детерминирующая органическая система как целое сама, в свою очередь, является функционирующей и подчиняет формирование своих органов — внут-

ренных подсистем — своей собственной функции, которая определяется в составе еще более широкого целого.

Лишь вечная и непрерывно существующая субстанция может быть в полной мере рассмотрена в качестве субъекта всех своих изменений. По отношению же к любой конечной системе возникает необходимость представить внешне порождающие ее причины, обнаружить силы, детерминирующие развитие системы еще до ее возникновения. В настоящее время, когда важное значение придается поисковым исследованиям в науке, для адекватного описания противоречий социальной сферы и разработке обоснованных рекомендаций по их преодолению также потребуются поиск новых идей, ведь сейчас в обществоведении наметился поворот к строго научному социальному мышлению. "Путь подлинной науки об обществе, — пишет А.Н.Яковлев, — не от заранее заданных и удобно-утешительных принципов — к фактам жизни, а от реальностей бытия, от действительно жизненных процессов — к выводам, формулированию принципов и целей" [3, с.9]. Именно поэтому необходим отказ от инерции мышления, от привычных, но сегодня уже недостаточных схем и подходов.

Каковы же действительные факты протекания жизненных процессов, учет которых должен побудить искать более адекватные подходы к описанию и последующему моделированию сложных систем? Они, по анализу литературы, сведены нами к двум группам: первую можно условно назвать "человеческий фактор", а вторую — "экологический кризис". Указанная дихотомия следует из того, что с позиций традиционного системного подхода человеческое общество является, с одной стороны, элементом органической системы более высокого иерархического уровня (природы), а с другой — само же общество есть совокупность иерархически подчиняющих друг друга органических систем, каждая из которых как элемент должна наиболее эффективно выполнять свою узкую "целевую функцию" в связи со своим местом в иерархии, но при этом еще и обладать теми свойствами, которые называют устойчивостью (гомеостазом, самосохранением).

Так, К.Маркс, анализируя природу социальных объектов буржуазного общества на примере понятия "органическая система", исследовал их формирование как целостностей с характерной целенаправленной деятельностью, саморегуляцией и развитием, взаимодействием целей отдельных элементов объекта и целей целостного объекта. Он отмечал, что "... органическая система как совокупное целое имеет свои предпосылки, и ее развитие в направлении целостности состоит именно в том, чтобы подчинить себе все элементы общества или создать из него еще недостающие ей органы. Таким путем система в ходе исторического развития превращается в целостность" [4, с.104].

Каждому уровню народнохозяйственной иерархии соответствуют свои субъекты деятельности — это отдельные индивиды или их совокупности, объединенные, в первую очередь, системой производственных от-

ношений и организационно-технологическими взаимосвязями, общими производственно-хозяйственными целями предприятия, организации, учреждения, министерства или ведомства, территориального органа планирования или управления и т.д. Такое определение субъекта является формальным, поскольку следует из учета только одной роли, которую выполняет индивид в соответствии со своим местом в трудовом коллективе. Однако в действительности, в том же коллективе у одного и того же человека ролей (их принято называть социальными) может быть несколько, не говоря уже о том, что тот же человек может входить в несколько обществ, организаций или объединений (формальных или неформальных), имеющих свои собственные цели и накладывающий на своих членов определенные и порой противоположные обязанности. Очевидно, что работник, выполняющий конкретную функциональную роль, несет при этом и "груз" своего социального положения, вытекающего из множественности его социальных ролей. Именно поэтому выполнение функциональной роли происходит, как это отмечают в социальной психологии, под влиянием "результатирующей" остальных ролей. О необходимости учета этого обстоятельства при прогнозировании (а значит, и при моделировании) поведения социально-экономических субъектов пишут в настоящее время особенно много авторы, разрабатывающие положения экономической социологии под руководством Т.И.Заславской [5; 6]. Разработка этих положений проводится в связи с постановлениями партии и правительства, направленными на перестройку управления экономикой, ее хозяйственного механизма.

В докладе на июньском (1987 г.) Пленуме ЦК КПСС М.С.Горбачев, подчеркнув значение учета интереса людей во всех практических делах, в частности отметил: "Опыт перестройки, ее начального этапа, побуждает также пристально взглянуть и в реально существующие противоречия интересов различных групп населения, коллективов, ведомств и организаций. Безусловно, социализм устраняет антагонизм интересов. Тезис — известный и верный, но никак не означающий, что ликвидация антагонизма интересов тождественна их унификации или нивелировке.

В условиях перестройки по-новому встает проблема гармонизации общественных и личных интересов. Поиск правильных соотношений между теми и другими имеет огромное значение, это задача живой практики. Речь идет об учете всего комплекса интересов — личности, коллектива, классов, наций, народностей, социальных и профессиональных групп, сложной диалектики их взаимоотношений, — с тем чтобы обеспечить динамичное развитие общества" [7, с.108].

Учет человеческого фактора, т.е. интересов миллионов людей, составляющих все малые и большие социальные группы в обществе, имеет исключительно большое значение для совершенствования прогнозирования и управления социальными процессами, однако это только одна сторона функционирования общества, которая отражает его внутреннюю структуру. Другая сторона следует из того, что вся совокупная

человеческая деятельность является внутренней, в свою очередь, по отношению к природе. Взаимодействие между обществом и природой ведет к противоречиям из-за того, что в ходе материального производства происходит, во-первых, все большее "освобождение" человека из-под власти стихийных сил природы, а во-вторых, при этом происходит и более тесное единение человека с природой, освоение все более расширяющегося круга веществ и видов энергии. Таким образом, человек является закономерной составной частью природы и в то же время ее разрушителем, поскольку его деятельность все в большей степени направлена на такое воздействие на природу, которое не является компенсаторным и биологически адаптивным. В наши дни техническая мощь человечества существенно подрывает былую слаженность функционирования биосферы. Поэтому сегодня, особенно за рубежом, в ходу многие изощренные предсказания, в которых рисуются картины будущей, якобы неизбежной катастрофы, гибели человечества в результате обострения экологической ситуации.

За прошедшие годы экологически неадекватное поведение человека, включающее хищническое потребление по отношению к природным ресурсам, а также нигилизм ко всеобщим заботам и создававшимся веками духовным ценностям, привело к положению, о котором М.С.Горбачев сказал: "Никогда прежде наш земной дом не подвергался таким политическим и физическим нагрузкам. Никогда человек не взимал с природы столько дани и никогда не оказывался столь уязвим перед мощью, которую сам же создал" [8, с.7]. Для эффективного решения социально-экономических, политических, экологических проблем современности необходимо дальнейшее развитие диалектико-материалистической методологии, дающей оценку перспектив развития системы "человек—общество—природа", нуждающейся в гармонизации отношений между ее элементами. Ведь только в русле поиска гармонического решения проблем "общество—природа" лежит путь к гармонии человека и природы, поскольку эти взаимоотношения существуют только в рамках конкретных социальных условий.

На примере рассмотрения глобально-экологической проблематики особенно наглядно видно, к каким последствиям ведет органически-системный подход, который обрекает нас на то, чтобы оказаться перед альтернативой: "либо системообразующий принцип предполагается весь и целиком вне человечества, но в какой-то замкнутой целостности — то ли планетарной, то ли более широкой, включающей еще и дополнительные околоземные среды, либо названный принцип категорически присваивается человечеству как его собственное исключительное достояние. Только так можно было бы рассуждать, если быть вполне последовательным. Но возможен еще и третий, более или менее эклектизированный вариант, когда ситуация изображается как столкновение двух органических систем друг с другом. Однако во всех этих трех случаях методологическим ориентиром, определяющим общую направ-

ленность даже постановки проблем, а поэтому также и ход и исход их решения, было бы не что иное, как логика снятия" [2, с.189].

В качестве конструктивного выхода из положения, охарактеризованного выше, Г.С.Батищев предлагает искать такую логику, которая "должна быть логикой одновременно и снятия, и неснятия, так что в ней утверждаются более богатые и сложные системы, где находят себе законное место подсистемы, отнюдь не лишаемые гармонического участия и права на самостоятельный голос также и на всеобщем уровне, на уровне ценностей и следствий из них. Это значит, что сами системы должны быть обнимающими собой не только *неснятое* многообразие объектных содержаний, но и субъективную многоликость, ценностную открытость" [2, с.190].

Существенная особенность такой системы, которая заслуживает названия гармонической, заключается в том, что внутри нее утверждается неантагонистическое противоречиво-гармоническое сотрудничество подсистем или элементов. "Свободное развитие каждого является условием свободного развития всех" [9, с.447] — в этом тезисе самым отчетливым образом обнаруживается характернейшая черта гармонически-системной связи, а именно — "взаимность между всеми участниками, их сущностная *сопричастность* друг другу. ... плюралистская, всегда более или менее конгломератная система выступает как область "ничьих" интересов, как отчужденная от каждого из участвующих элементов суммарная мощь, возникающая из антагонистического противоречивого соединения самодовлеющих, "атомизированных" частей, каждая из которых притязает быть самозамкнутой *целым* и самоцелью, относясь ко всем другим как средству, — гармонически объединившиеся элементы, напротив, никогда не относятся друг к другу как лишь к средству, а тем более не перестают в первую очередь быть живущими проблемами всего целого и ради него прежде всего" [2, с.192].

Проблема поиска логики и механизмов построения системно-гармонических связей к настоящему времени превратилась из чисто познавательной в насущную практическую задачу (вспомним в этой связи еще раз то, что было названо проблемой человеческого фактора и экологической). Определенную часть мнений по поводу этой задачи можно назвать по аналогии с классической задачей механики прошлого о взаимодействии трех тел, как задачу трех критериев. Ведь если продолжать определять сложодинамическую систему, как иерархически включающую в себя элементы более низкого уровня и в то же время саму являющуюся элементом системы более высокого иерархического уровня, то возникает двойственность целей, а вслед за ними третья целевая функция — найти наиболее эффективное решение по двум первым критериям одновременно.

Примерно с такой позиции рядом авторов трактуется понимание оптимального состояния объектов, исследуемых ими. Так, в отношении физиологической системы ее оптимум понимается как единство "мак-

симула эффективности" системы как целого и "максимума уравновешенности" входящих в него субсистем [10]. К этим взглядам близка точка зрения А.А.Логинова, который пишет об "адаптивном гомеостазе" и "оптимальности энергозатрат всей многоуровневой системы" [11, 83]. Подобное понимание все более утверждается в социально-экономических дисциплинах, учитывающих не только показатели узко понимаемой эффективности, но и сбалансированности производства [12]. Следовательно, сущностный смысл понятия "оптимум" раскрывается через диалектическое единство уже двух целей органической системы, ставшее интегративной целью гармонической системы, которую еще можно назвать самоорганизующейся системой.

Исследованием процессов самоорганизации в настоящее время особенно интенсивно занимаются в рамках синергетики. Это новое междисциплинарное направление в науке, изучающее процессы, происходящие в физических, химических, метеорологических, биологических, экологических, социальных и других объектах. Поскольку самоорганизация является конкретным, естественнонаучным выражением философского принципа самодвижения материи, постольку ее выводы могут иметь фундаментальное мировоззренческое значение. Название новой науки происходит от греческого слова, означающего совместные или кооперативные действия отдельных частей объекта, в ходе которых происходит возникновение пространственно-временных макроструктур [13]. В рамках такой самоорганизующейся системы возникает действительная гармонизация отношений, поскольку между ее элементами существует сопряженность — результаты деятельности одной компоненты являются условием, ресурсом для функционирования второй, сопряженной с первой, и т.д. Механизм саморегуляции, реализующийся за счет циклически замкнутой кооперации конкурирующих за ресурсы воспроизводящихся процессов, получил название "гиперцикл" [21; 22, с.145—147].

Таким образом, синергетический подход к моделированию социальных процессов заключается в том, что тот или иной объект, функционируя в некоторой среде своего "обитания", образует с ней своего рода симбиоз, который следует рассматривать как гармоническую систему. Функционирование такой системы следует истолковывать как постоянное стремление к: а) выживанию системы; б) ее гомеостазису; в) повышению качества протекания процессов по обмену веществом, энергией, информацией. В континууме возможных предельных случаев постановки исследовательских задач, т.е. при моделировании как процессов глобального масштаба (взаимодействие общества и природы), так и микроуровня (взаимодействие в малой группе), необходимо построение модели гиперциклического механизма.

Разработка средств обеспечения оптимального взаимодействия всех сфер жизнедеятельности общественного организма является стимулом продолжения работ по становлению и развитию синтетического

направления в науке, объединяющего исследования процессов, протекающих в неживой части природы, в живой материи и человеческом обществе.

2. КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛИ ПРОЦЕССОВ ОБЩЕСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Еще в "Немецкой идеологии" К.Маркс и Ф.Энгельс выдвинули в качестве основополагающего принципа материалистического понимания истории положение о том, что производство людьми средств, необходимых для удовлетворения их жизненных потребностей, представляет собой первую предпосылку всякого человеческого существования. Для обозначения общественного производства в целом Ф.Энгельс в предисловии к работе "Происхождение семьи, частной собственности и государства" пользовался понятием производство жизни. Он писал: "...определяющим моментом в истории является в конечном счете производство и воспроизводство жизни. Но само оно, опять-таки, бывает двоякого рода. С одной стороны — производство средств к жизни: предметов питания, одежды, жилища и необходимых для этого орудий; с другой — производство самого человека, продолжение рода" [14, с.25—26]. На любом этапе истории своего развития общественное производство предстает не только как целостный процесс, но и как некоторое множество качественно различных, но взаимообусловленных процессов производства: а) носителей социальной жизни — людей, б) предметных условий их существования — средств к жизни, в) социальных условий их существования — общественных отношений.

Анализу структуры и динамики целостного процесса воспроизводства жизни посвящен цикл исследований В.Е.Хмелько [17—20]. Необходимость рассмотрения структуры указанного процесса вытекает из неоднородности социального организма как целого ввиду того, что существуют отличия между людьми и предметами (компоненты организма), с одной стороны, между людьми и предметами — с другой. В содержании процессов производства и воспроизводства общества эта специфика проявляется в том, что при всех исторически сменяющихся способах производства люди производятся в качестве субъектов социальных взаимодействий, а предметы — в качестве объектов, средств их деятельности. Общественные же отношения, поскольку они в отличие от людей и предметов не обладают телесностью, всегда производятся в качестве форм социальной жизни и процессов социальных взаимодействий.

В процессе потребления человеком средств жизни любой предмет может выступить только в трех качествах. Дело в том, что все виды природы отношений между предметами и людьми могут быть сведены к трем группам. В первой предмет поглощается и превращается в сред-

ство производства человеком своего органического тела. Во второй происходит внешнее, пространственное соединение предметов и человека, в результате которого производится его так называемое "неорганическое тело". При третьем происходит воспроизведение внешних отношений между предметами или людьми в функциональных структурах человеческого мозга. В зависимости от конечного вида продукта производство средств к жизни можно представить как производство пищевых, вещных и знаковых средств жизни.

В процессе производства людей и общественных отношений все виды соответствующей деятельности и отношений (между мужчиной и женщиной, взрослым и ребенком и т.д.) можно представить направленными на производство человека как биологического организма, с одной стороны, и личности — с другой.

Специфика выделенных пяти конечных продуктов производства (человека как организма и как личности, пищи, вещей, знаков) получила свое отражение в виде совокупности из пяти теоретически агрегированных процессов, сформировавшихся общественным разделением труда [19, с.62—69]: 1) присваивающая потребительская деятельность, обеспечивающая только физическое производство людей; 2) аграрное производство (земледелие, скотоводство и т.д.); 3) промышленное производство; 4) информационное производство; 5) производство целостного человека как творческой личности. Историческая динамика этих процессов представлена на рис. 13, где на оси абсцисс изображено время, а по оси ординат — доля затрат общественного труда, соответствующая определенному виду производства [18, с.358].

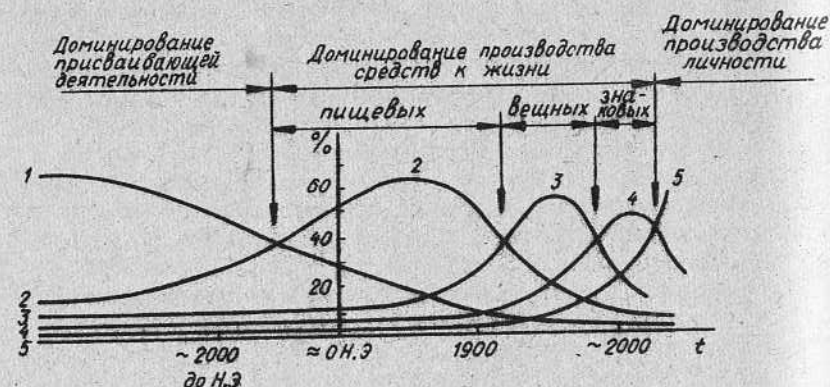


Рис. 10

В каждой исторически конкретной структуре общественного производства жизни есть своя доминирующая сфера — тот вид производства, который определяет место и влияние остальных производств в данном обществе. По мере развития различных компонентов произво-

дительных сил пропорции, в которых совокупный общественный труд распределяется между разными сферами производства, изменяются. Затраты труда в этих сферах находятся во взаимоограничивающем соотношении: чем большая часть совокупного рабочего времени используется обществом в какой-либо сфере производства, тем меньшая его часть приходится на остальные. Это значит, что относительная экстенсификация той или иной сферы производства может происходить в более или менее крупных размерах лишь в том случае, если она ведет к соответствующей интенсификации других его сфер. Общая закономерность смены доминант макроструктуры общественного производства жизни сформулирована так: "Со временем доминирующей становится та сфера производства, экстенсивное развитие которой в конечном итоге в наибольшей мере обеспечивает интенсификацию сферы, доминирующей в рассматриваемый период" [20, с.165].

Виды общественного производства связаны между собой таким образом, что продукты одних, перемещаясь в другие, становятся их средствами, ресурсами. Влияние этих потоков "продукты—ресурсы" на каждый вид производства весьма разнообразно. В рассматриваемом аспекте наиболее существенным интегральным их результатом является изменение производительности труда внутри того производства, в которое они направлены. Общая закономерность смены доминант общественного производства жизни сформулирована в следующем положении: "какой-либо вид производства имеет тенденцию становиться доминирующим тогда и постольку, когда и поскольку затраты труда в этом производстве начинают давать такие продукты, использование которых приводит к превосходящей экономии затрат труда в других видах производства, особенно уже в доминирующем" [20, с.166].

В свое время ресурсами интенсивного развития доминирующего потребительского производства самого человека были пищевые продукты сельского хозяйства; преобладающего аграрного производства — определенные продукты промышленности (машины, энергоносители, удобрения). В условиях доминирования вещного производства с развертыванием НТР основными ресурсами его интенсификации становятся определенные продукты информационного производства — научная, техническая, технологическая, программирующая информация. Анализ эволюции общественного производства жизни позволил В.Е.Хмелько сформулировать и обосновать утверждение, что в условиях доминирования информационного производства основным ресурсом его интенсификации станет творческая личность [20, с.168]. Это обстоятельство, в свою очередь, приведет общественное производство жизни к такому состоянию, при котором производство людей как личностей станет преобладающей сферой их трудовой деятельности и основная часть человеческой жизни уже будет соответственно не овеществляться и даже не опредмечиваться, а воплощаться в самих людях, в их отношениях друг с другом. Очевидно, что такая макроструктура об-

шественного производства, в которой доминирующей сферой является производство самого человека как творческой, всесторонне развитой личности и к которой с необходимостью ведут внутренние закономерности исторического развития самих производительных сил, может сложиться лишь в условиях господства коммунистических общественных отношений. Эта концепция интересна тем, что позволяет ее автору предсказать следующую после научно-технической революции в производительных силах (В.Е.Хмелько предлагает назвать ее человекотворческой).

Приведенная выше концептуальная модель общественного производства жизни дает возможность сделать первые шаги на пути создания математических, компьютерных моделей рассматриваемых процессов. Последующая верификация этих моделей обеспечит решение по-новому ряда задач, в числе которых: совершенствование приемов моделирования социальных процессов; определение направлений, по которым целесообразно интенсифицировать проведение социологических исследований, обеспечивающих информационную базу моделей, что, в свою очередь, повысит качество подготовки и принятия решений по критериям социальной эффективности; дальнейшее развитие методологии социального познания.

В качестве начального шага в таком направлении рассмотрим следующую синергетическую модель общественного производства жизни. На первых порах мы ограничимся процессами производства только трех видов: а) присваивающая деятельность, обеспечивающая воспроизводство населения; б) аграрное производство; в) промышленное производство.

Продукт, произведенный за единицу времени, принято описывать скалярной производственной функцией от вектора используемых ресурсов

$$\vec{a} = (a^1, \dots, a^n), \Delta y = F(a^1, \dots, a^n).$$

Если приращения продукта берутся за малые промежутки времени, то это соотношение можно заменить следующим дифференциальным уравнением

$$\dot{y}' = f(a^1, \dots, a^n).$$

Приращение продукта определяется разностью между количеством произведенного продукта и потерями

$$\dot{y} = F - \varphi.$$

Пусть x_j — трудовые затраты в j -м виде производства. Трудовые затраты в j -м виде производства изменяются по закону

$$\dot{x}_j = F_j - \varphi_j.$$

П.М.Аллен [16] предложил следующую производственную функцию

$$F_j = C_j x_j / (P_j + \sum_i R_j^i x_i - p_j x_j),$$

где P_j — количество природных ресурсов, используемых в данном виде производства, член $\sum_i R_j^i x_i$ описывает производство ресурсов для j -го производства другими видами производства, $(p_j x_j)$ — количество ресурсов используемых в j -м производстве с объемом трудовых затрат x_j , C_j — константа.

Поскольку присвоение продуктов природы ограничено имеющимся природным ресурсом, то трудовые затраты в первом виде производства описываются следующим уравнением:

$$\dot{x}_1 = \kappa_1 x_1 (N_1 - x_1) - \varphi_1. \quad (1)$$

Коэффициент κ_1 определяет экспоненциальный рост трудовых затрат при малых x_1 ($x_1 \ll N_1$) и $\varphi_1 = 0$ (т.е. при максимально благоприятных природных условиях).

Поскольку применение промышленной продукции позволяет использовать ресурсы, ранее не доступные для аграрного производства, то

$$\dot{x}_2 = \kappa_2 x_2 (N_2 + \alpha x_3 - x_2) - \varphi_2. \quad (2)$$

Будем считать, что рост производства вещных средств жизни (при заданной производительности труда) лимитируется только наличием аграрной продукции

$$\dot{x}_3 = \kappa_3 x_3 (\beta x_2 - x_3) - \varphi_3. \quad (3)$$

Коэффициент β определяется трудовыми затратами в вещном производстве, для обеспечения которых необходима продукция, полученная в результате трудовых затрат в аграрном производстве в объеме единицы (в выбранной системе измерения).

В модели (1–3) процессы подвержены каталитическому влиянию продуктов других процессов. Как уже указывалось, такую систему принято называть гиперциклом. М.Эйген и П.Шустер [21] показали, что гиперциклические системы способны к самоорганизации и их развитие можно представить как целенаправленную эволюцию.

Анализ структуры социально-экономических систем позволил Маркетти [23] и В.Е.Хмелько [20] выдвинуть гипотезу, что эволюция структуры процессов общественного производства также обусловлена их гиперциклической организацией.

Эволюция гиперцикла происходит таким образом, что система все время находится вблизи устойчивого положения равновесия. В этом проявляется стремление сложной самоорганизующейся системы сохранить свой гомеостазис.

Следовательно, для описания эволюции динамической системы (1–3) нам необходимо найти все возможные устойчивые состояния и описать механизм, осуществляющий переход из одного устойчивого состояния в другое.

Следуя методике М.Эйгена [21], будем считать, что эволюция социума представляет собой квазистационарный процесс в том смысле,

что в каждый момент времени можно с достаточной степенью точности считать стационарными суммарные трудовые затраты в общественном производстве, т.е.

$$\dot{C}(t) = 0, \quad (4)$$

где

$$C(t) = x_1 + x_2 + x_3. \quad (5)$$

Это дает возможность ввести новый параметр C_0 , который представляет собой стационарное значение $C(t)$.

Естественно предположить, что процент потерь пропорционален количеству трудовых ресурсов

$$\varphi_i = x_i \sum \varphi_j. \quad (6)$$

Введем обозначение

$$\psi = k_1 x_1 (N_1 - x_1) + k_2 N_2 (N_2 + \alpha x_3 - x_2) + k_3 x_3 (\beta x_2 - x_3). \quad (7)$$

Тогда из условия стационарности (5) и из соотношения (6) следует

$$\sum \varphi_i = \psi / C_0. \quad (8)$$

Из (1-3) и (6-8) получим уравнение для производной от суммарного количества трудовых ресурсов

$$\dot{C} = \psi (C_0 - C) / C_0. \quad (9)$$

Отсюда следует, что если выполняется условие

$$\psi > 0, \quad (10)$$

то точка C_0 является устойчивой стационарной точкой.

Таким образом, функции φ_i имеют следующий вид

$$\varphi_i = \frac{x_i}{C_0} [k_1 x_1 (N_1 - x_1) + k_2 N_2 (N_2 + \alpha x_3 - x_2) + k_3 x_3 (\beta x_2 - x_3)]. \quad (11)$$

В результате эволюции общества изменяется квазистационарное распределение трудовых ресурсов между видами производства. В данной модели бифуркационным параметром является параметр C_0 , по мере его изменения изменяется фазовый портрет системы и, следовательно, эволюционируют устойчивые точки системы, поэтому исследование модели (1-3) при условиях (5-11) сводится к нахождению стационарных точек как функций параметра C_0 и проверке их на устойчивость.

Приравняв нулю правые части (1-3) и воспользовавшись соотношением (5) при $C(t) = C_0$, получим следующие стационарные точки:

$$x_1 = C_0, x_2 = 0, x_3 = 0; \quad (12)$$

$$x_1 = [\kappa_2 C_0 + (\kappa_1 N_1 - \kappa_2 N_2)] / (\kappa_1 + \kappa_2),$$

$$x_2 = [\kappa_1 C_0 - (\kappa_1 N_1 - \kappa_2 N_2)] / (\kappa_1 + \kappa_2),$$

$$x_3 = 0; \quad (13)$$

$$x_1 = N_1, x_2 = N_2 / (1 - \alpha\beta), \quad (14)$$

$$x_3 = \beta N_2 / (1 - \alpha\beta).$$

В точке

$$C_0^x = N_1 - \frac{\kappa_1}{\kappa_2} N_2 \quad (15)$$

решение (12) теряет устойчивость, передавая устойчивость решению (13). Как показал вычислительный эксперимент, точка (13) тоже теряет устойчивость при достижении C_0 определенного значения, передавая устойчивость следующему решению. В конце концов система приходит в стационарную точку (14), которая определяет предельную численность социума для данного уровня производительности в сельском хозяйстве.

Поведение системы представлено на рис. 11.

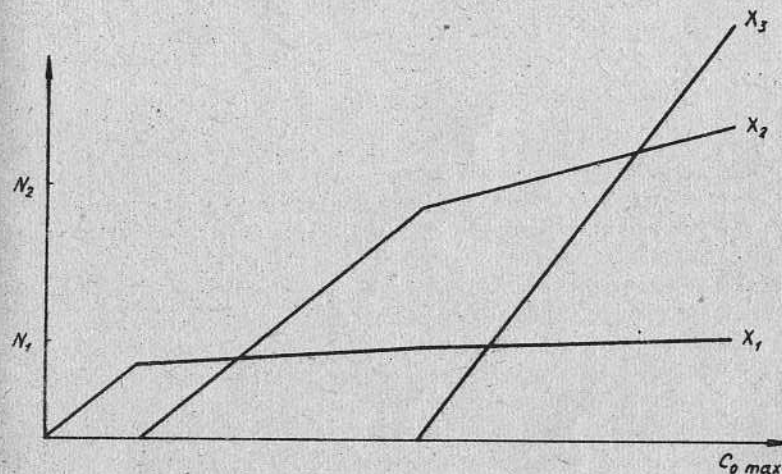


Рис. 11

Мы видим, что в начале эволюции второй и третий вид производства практически отсутствуют. Затем первый вид производства выходит на насыщение вследствие ограниченности природного ресурса, и начинает развиваться второй вид производства. После того как резервы примитивного аграрного производства средств жизни будут исчерпаны, начнет развиваться третий вид производства.

Если производительность труда во втором виде производства не растет, то суммарные трудовые затраты общества не могут превысить значения

$$C_0 \max = N_1 + \frac{N_2 (1 + \beta)}{1 - \alpha\beta}. \quad (16)$$

Процентное распределение трудовых ресурсов между видами производства представлено на рис. 12.

Вообще говоря, параметр C_0 здесь выступает как внутреннее время системы [16], и по его значению социум можно отнести к определенной

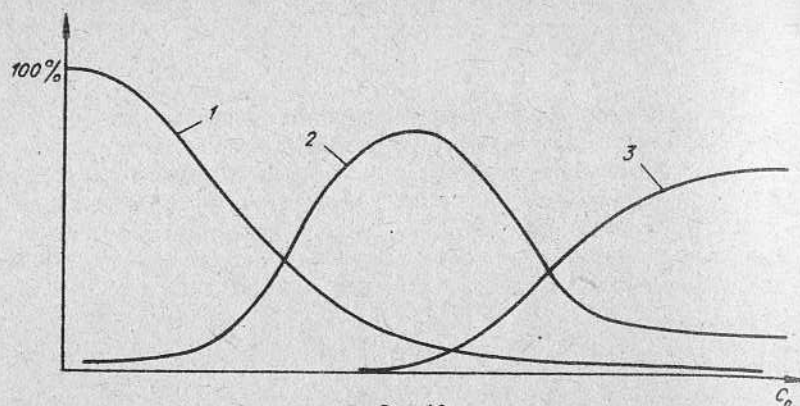


Рис. 12

исторической эпохе развития структуры процессов производства, что дает возможность установить связь между временем как динамикой системы, которая отчетливо проявляется вдали от положения равновесия, и временем как историей системы, представляющей собой эволюцию стационарных состояний [16].

Для объяснения роста параметра C_0 мы вынуждены постулировать отбор флуктуаций, который определяет направление эволюции.

Среди флуктуаций отбираются те, которые приводят к увеличению C_0 . Такой отбор можно объяснить конкуренцией между социумами, в которой побеждают более многочисленные. Это объясняет тот факт, что изолированные племена часто останавливаются на некоторой стадии развития (по этому поводу см., например [24]).

Следует отметить, что эмпирически установить закономерности развития, представленные на рис. 14, довольно трудно, в силу наличия точек бифуркации, в которых и происходит обмен устойчивостью между решениями, кроме того, зависимость от времени факторов, которые определяют изменение C_0 со временем, сама может меняться качественным образом.

* * *

Классификация процессов общественного производства, предложенная В.Е.Хмелько [20], дала возможность построить на основе модели П.М.Аллена [16] систему дифференциальных уравнений, описывающую эволюцию социально-экономической системы, эквивалентную систему, описывающей гиперциклический катализ. Это позволило рассмотреть процесс развития социально-экономической системы согласно с гипотезой Маркетти и Хмелько, утверждающей, что эволюция общественного производства обусловлена гиперциклической организацией процессов производства [20, 23].

Аналитическое исследование построенной модели и вычислительный эксперимент показали, что поведение системы соответствует качественной статистической картине, полученной В.Е.Хмелько [18].

Трудности, связанные с прогнозированием сложных систем, показывают, что для эффективного регулирования развития общественного производства необходимо понимание природы социально-экономических процессов, пренебрежение которой приводит к тому, что планирование превращается в "бесполезный ритуал".

Здесь необходимо отметить, что при изучении сложных самоорганизующихся систем следует строго различать методы имитации и моделирования и не забывать золотого правила, что "если хорошая имитация должна учитывать как можно больше деталей, то хорошая модель, напротив, должна содержать их как можно меньше" [15].

ПРИЛОЖЕНИЕ

СИСТЕМА ИМИТАЦИИ СЕТЕЙ ОБСЛУЖИВАНИЯ НЕПОЛНОДОСТУПНЫХ ТРЕБОВАНИЙ

В работе [33, с.70–71] А.Я.Хинчиным определено понятие полнодоступного пучка обслуживающих приборов (ОП), что означает такую совокупность приборов, в которой каждое прибывшее требование может проходить обслуживание на любом из приборов совокупности. Свойство полнодоступности транзитивно, т.е. каждый из приборов может обслуживать любое из требований потока. Поэтому наравне с полнодоступностью пучка приборов можно говорить о полнодоступности требований потока. Свойство полнодоступности обслуживания характерно для многих реальных систем и получило широкое распространение во многих задачах массового обслуживания. Однако на практике, особенно при рассмотрении сложных систем, свойство полнодоступности часто не соблюдается: некоторые приборы могут обслуживать не все требования, а лишь те, которые обладают определенным признаком. Точно так же зачастую требования могут проходить обслуживание не на любом приборе, а лишь на приборах определенного подмножества всех имеющихся приборов.

Обобщением понятия системы массового обслуживания служит понятие сети обслуживания, которым обозначаются сложные системы, в которых требования последовательно проходят несколько фаз (этапов) обслуживания, двигаясь от одних групп приборов к другим по заранее намеченным путям. Вся совокупность обслуживающих приборов сети образует неполнодоступный пучок и не все требования, поступившие на входы сети, являются полнодоступными для определенных приборов. Тем не менее, если такую сеть расчленим на отдельные фазы обслуживания, то каждая из этих фаз является полнодоступной системой. Таким образом, сеть обслуживания в традиционном смысле этого понятия представляет собой упорядоченную систему полнодоступных систем массового обслуживания.

При решении практических задач исследователями рассматривались системы с различными отклонениями от традиционных алгоритмов обслуживания, в которых не соблюдалось свойство полнодоступности. К таким системам можно отнести системы с переменными приоритетами, с параллельным обслуживанием одного требования несколькими приборами, со случайными переходами по одному из нескольких путей движения требований в сети и т.д.

Потребности решения важных практических задач планирования и проектирования обуславливают необходимость решения задач нового класса, где свойство неполнодоступности носит систематический характер. Сформулируем общее описание этого класса задач путем словесного перечисления некоторых характерных свойств.

Класс задач, где свойство неполнодоступности носит систематический характер, характеризуется следующим образом: 1. Имеется определенное число требований на обслуживание, некоторое число ОП и набор операций обслуживания.

2. Для каждого требования указывается перечень операций, по которым оно должно пройти обслуживание, объем обслуживания по этим операциям и момент времени поступления требования в сеть. 3. Для каждого ОП указывается список операций, по которым этот ОП способен выполнять обслуживание требований, время вступления в строй, а также интенсивности обслуживания этим ОП по всем указанным операциям. 4. Для каждой операции указывается перечень других операций, таких, что обслуживание по данной операции может начаться лишь после окончания обслуживания по всем этим операциям. 5. В каждый момент времени каждое требование может обслуживаться несколькими ОП либо по разным операциям, либо по одной и той же операции. 6. В каждый момент времени любой из ОП в общем случае может обслуживать несколько требований по нескольким операциям. 7. Все требования, все ОП и все операции перенумерованы, причем требования, ОП и операции с меньшими номерами при прочих равных условиях обладают приоритетом относительно требований, ОП и операций с большими номерами. 8. Требование считается полностью обслуженным, если оно прошло обслуживание по всем указанным для него операциям. 9. Требование, уже поступившее в сеть и не являющееся еще полностью обслуженным, может находиться в состоянии ожидания, если в данный момент времени не имеется ни одного ОП, способного выполнять обслуживание по тем операциям, по которым оно должно проходить обслуживание в данный момент времени. 10. ОП может находиться в состоянии простоя, если в данный момент времени не найдется ни одного требования, которое может обслуживаться хотя бы по одной из операций, выполняемых данным ОП. 11. В сети не существует заранее намеченных путей движения требований от одного ОП к другим — требования могут поступать к ОП мгновенно в зависимости от их потребности и возможности в обслуживании ОП. 12. Совокупность моментов времени поступления требований в сеть, вступления в строй ОП, окончания обслуживания требований по какой-либо операции образует множество так называемых узловых точек. В каждой узловой точке происходит перераспределение ОП между обслуживаемыми требованиями с целью максимального сокращения простоев ОП и ускорения процесса обслуживания, особенно тех требований, которые пользуются наибольшим приоритетом.

Существенными качественными особенностями сетей обслуживания неполнодоступных требований по сравнению с традиционными схемами массового обслуживания является то, что каждое поступившее требование обслуживается в принципе по нескольким операциям, т.е. требования носят укрупненный характер, не являются однородными, их обслуживание более индивидуализировано, а каждый ОП в принципе может выполнять обслуживание не по одной, а по нескольким операциям. Для такой сети обычные традиционные стационарные характеристики, в основном, теряют смысл, так как ввиду сильно выраженной индивидуальности требований о стационарном поведении системы говорить трудно. Целесообразно изучать поведение сети на конечном интервале времени.

Для построения системы имитации сетей обслуживания неполнодоступных требований, моделирующей исследуемый процесс, использован метод автоматного моделирования. Построенная модель является асинхронной: промежутки времени единичной длины в автоматном времени имеют различную длительность при переводе в текущее время, выраженное в условных временных единицах одинаковой длительности. При использовании системой имитации удобно представлять все вводимые и выводимые характеристики моментов времени в календарном времени (годы, месяцы, числа, часы, минуты и т.д. — в зависимости от характера исследуемого процесса). Это обуславливает необходимость перевода всех временных показателей при вводе из календарного времени в текущее, а при выводе — наоборот. Эту задачу выполняют специальные блоки обеспечения имитационной системы.

Основным назначением элементарного цикла моделирования является перераспределение ОП на обслуживание требований по различным операциям, осу-

существляемое с помощью промежуточных величин. Такое перераспределение выполняется в три этапа: 1) выяснение потребностей требований в обслуживании по операциям; 2) выяснение возможностей ОП в обслуживании требований по операциям; 3) назначение ОП на обслуживание в соответствии с введенным принципом приоритетности. Каждому этапу соответствует своя группа промежуточных величин.

Пусть n — номер требования ($n = \overline{1, N}$), m — номер ОП ($m = \overline{1, M}$), k — номер операции ($k = \overline{1, K}$). Требования будут характеризоваться объемами обслуживания a_{nk} ; моментом времени τ_n поступления в сеть; величиной E_n^0 , ограничивающей суммарную интенсивность одновременно выполняемых при обслуживании требований операций; величинами β_{nk} , где $\beta_{nk} = 1$, если n -ое требование подлежит обслуживанию по k -ой операции, и $\beta_{nk} = 0$ в противном случае. ОП описываются интенсивностями обслуживания μ_{nmk} ; моментами времени θ_m вступления в строй; величинами γ_{mk} , где $\gamma_{mk} = 1$, если m -ый ОП способен выполнять k -ую операцию и 0 — в противном случае; величиной f_m^0 , ограничивающей интенсивность обслуживания для m -го ОП. Вводится также матрица $P = (p_{kl})$ технологических зависимостей между операциями: $p_{kl} = 1$, если обслуживание по k -ой операции может быть начато только после окончания обслуживания по l -ой операции и 0 — в противном случае ($k = \overline{1, K}$; $l = \overline{1, K}$).

Внутренние состояния автоматов определяются следующим образом: $a_{nk}(t)$ — остаточный объем обслуживания n -го требования по k -ой операции в t -ый узловой момент; $c(t)$ — значение текущего времени в t -ый узловой момент; $b_{nmk}(t)$ — величина, равная 1, если в t -ый узловой момент n -ое требование обслуживается m -ым ОП по k -ой операции и 0 — в противном случае; $d_{nk}(t)$ и $f_{nk}(t)$ — соответственно, моменты начала и окончания обслуживания n -го требования по k -ой операции, если такое обслуживание начато (окончено) в t -ый узловой момент — в противном случае $d_{nk}(t) = 0$, $f_{nk}(t) = 0$.

Состояние системы в каждый момент времени полностью определяется состоянием автоматов A_{nk} , B_{nmk} и C , образующими основную часть модели; автоматы D_{nk} и F_{nk} являются индикаторами.

Промежуточные величины первой группы определяются так: $h_{nk}(t)$ — остаточное время обслуживания n -го требования по k -ой операции в t -ый узловой момент; $s(t)$ — величина промежутка текущего времени между t -ым и $(t+1)$ узловыми моментами; $r_n(t)$ — величина, равная 1, если к $(t+1)$ -му узловому моменту n -ое требование поступит в сеть, в противном случае — 0; $u_{nk}(t)$ — величина, равная 1, если к $(t+1)$ -му моменту времени весь объем обслуживания n — го требования по k -ой операции будет полностью исчерпан, 0 — в противном случае; $p_{nk}(t)$ — величина, равная 1, если в t -ый момент времени n -ое требование еще нуждается в обслуживании по k -ой операции, в противном случае — 0; $q_{nk}(t)$ — величина, равная 1, если к $(t+1)$ -му моменту времени n -ое требование будет являться претендентом на обслуживание по k -ой операции, в противном случае — 0; $E_n(t)$ — остаточная интенсивность обслуживания n -го требования к $(t+1)$ -му моменту времени.

В процессе моделирования, как правило, необходимо учитывать ограничение на некоторый общий ресурс KV_0 . Введем величины e_{nmk} , где $e_{nmk} = 1$, если при выполнении r -ой операции n -го требования m -ым ОП ограничение на общий ресурс учитывается, и 0 — в противном случае.

Промежуточные величины второй группы: $z_m(t)$ — величина, равная 1, если к $(t+1)$ -му моменту времени m -ый ОП вступит в строй и 0 — в противном случае; $F_m(t)$ — суммарная интенсивность m -го ОП, которая может использоваться, начиная с момента времени $(t+1)$; $KV(t)$ — ограничение на общий ресурс, которое должно быть учтено при назначении ОП на обслуживание требований, начинаемое с $(t+1)$ -го момента времени.

Промежуточные величины третьей группы вычисляются с помощью разрабо-

танных специальных итерационных алгоритмов [32, 34], которые осуществляют назначение ОП на обслуживание требований по операциям, определяя величины $g_{nmk}(t)$, где $g_{nmk}(t) = 1$, если m -ый ОП на t -ом элементарном цикле назначен на обслуживание n -го требования по k -ой операции и $g_{nmk}(t) = 0$ в противном случае.

Таблица условных функционалов переходов записывается в виде следующей системы независимых разностных уравнений:

$$a_{nk}(t+1) = (1 - u_{nk}(t) \max_m b_{nmk}(t)) [a_{nk}(t) - s(t) \sum_{m=1}^M \mu_{nmk} b_{nmk}(t)], \quad (1)$$

$$b_{nmk}(t+1) = b_{nmk}(t)(1 - u_{nk}(t)) + a_{nk}(t)g_{nmk}(t), \quad (2)$$

$$c(t+1) = c(t) + s(t), \quad (3)$$

$$d_{nk}(t+1) = (1 - \max_m b_{nmk}(t)) \max_m g_{nmk}(t) [c(t) + s(t)] + [1 - (1 - \max_m b_{nmk}(t)) \max_m g_{nmk}(t)] d_{nk}(t), \quad (4)$$

$$f_{nk}(t+1) = \max_m b_{nmk}(t) u_{nk}(t) [c(t) + s(t)] + (1 - u_{nk}(t) \max_m b_{nmk}(t)) f_{nk}(t). \quad (5)$$

Промежуточные величины первой группы вычисляются с помощью соотношений:

$$h_{nk}(t) = \begin{cases} a_{nk}(t) / \sum_{m=1}^M \mu_{nmk} b_{nmk}(t) & \text{при } \sum_{m=1}^M \mu_{nmk} b_{nmk}(t) > 0 \\ 0 & \text{при } \sum_{m=1}^M \mu_{nmk} b_{nmk}(t) = 0 \end{cases}, \quad (6)$$

$$s(t) = \min \left\{ \min_n \min_k^+ \{h_{nk}(t)\}, \min_n^+ \{\tau_n - c(t)\}, \min_m^+ \{\theta_m - c(t)\} \right\}. \quad (7)$$

Символом $\min^+$ обозначается процедура нахождения наименьшего положительного значения последовательности — если таких не оказывается, то полагаем, что соответствующее $\min^+$ равно 0.

$$r_n(t) = \begin{cases} 1 & \text{при } \tau_n \leq c(t) + s(t) \\ 0 & \text{при } \tau_n > c(t) + s(t) \end{cases}, \quad (8)$$

$$u_{nk}(t) = \begin{cases} 1 & \text{при } a_{nk}(t) \leq s(t) \sum_{m=1}^M \mu_{nmk} b_{nmk}(t) \\ 0 & \text{при } a_{nk}(t) > s(t) \sum_{m=1}^M \mu_{nmk} b_{nmk}(t) \end{cases}, \quad (9)$$

$$p_{nk}(t) = \begin{cases} 1 & \text{при } a_{nk}(t) > 0 \\ 0 & \text{при } a_{nk}(t) = 0 \end{cases}, \quad (10)$$

$$g_{nmk}(t) = r_n(t) (1 - u_{nk}(t)) \beta_{nk} (1 - \max_m b_{nmk}(t)) [1 - \min_{l=1}^K \{1, \sum_{l=1}^K p_{nl}(t) (1 - u_{nl}(t) \max_m b_{nml}(t))\}], \quad (11)$$

$$E_n(t) = r_n(t) E_n^0 + \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^K \mu_{nmk} b_{nmk}(t) (u_{nk}(t) - 1). \quad (12)$$

Для вычисления промежуточных величин второй группы служат соотношения:

$$z_m(t) = \begin{cases} 1 & \text{при } \theta_m \leq c(t) + s(t) \\ 0 & \text{при } \theta_m > c(t) + s(t) \end{cases}, \quad (13)$$

$$F_m(t) = z_m(t) f_m^0 + \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K \mu_{nmk} b_{nmk}(t) (u_{nk}(t) - 1), \quad (14)$$

$$KV(t) = KV_0 + \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^K \mu_{nmk} b_{nmk}(t) e_{nmk} (u_{nk}(t) - 1). \quad (15)$$

Начальные состояния автоматов C, D_{nk}, F_{nk} модели (1–15) всегда выбираются нулевыми. Для автоматов A_{nk} начальные состояния берутся равными a_{nk} , т.е. $a_{nk}(0) = a_{nk}$. Начальные состояния автоматов B_{nmk} зависят от характера моделируемого процесса – если некоторые операции начали выполняться до момента времени $s(0)$, то соответствующие им $b_{nmk}(0)$ могут быть приняты равными 1, а остальные – равными 0. На основе модели (1–15) разработаны ее модификации 134; 35 1: рандомизированный вариант модели; модель для случая с периодическим переключением интенсивности обслуживания требований; модель для имитации процесса в виде сети обслуживания неподоступных требований с учетом времени на ориентацию ОП, происходящую в узловые моменты времени; модели при различных формах представления информационных данных задачи исследования, в том числе для случая обслуживания с дублированием.

Разработанные модели представляют собой многоцелевой комплекс исследования временных характеристик процессов, формализуемых с помощью сетей обслуживания неподоступных требований. Основными регулируемыми параметрами при этом являются: величина общего ресурса, мощности и специализация ОП, приоритеты, моменты вступления в строй ОП и др.

При исследовании процесса инженерной подготовки и инженерного оборудования в системе СОНЕТ в качестве ОП рассматривались строительные организации, в качестве требований – подготавливаемые площадки, а общим ресурсом являлись капиталовложения.

Комплекс имитационных моделей сетей обслуживания неподоступных требований может применяться при исследованиях проблем реализуемости различных сложных экономических и социальных проектов.

КЛАССИФИКАЦИЯ ИГР

Теория игр описывает явления, происходящие в человеческом обществе, путем построения математических моделей поведения различных элементов общественной системы. Ввиду значительного разнообразия как подсистем, на которые общество можно расчленить для анализа его функционирования, так и способов поведения этих подсистем, в теории игр существуют различные классы игр. Наличие четко выраженного поведенческого элемента во взаимодействии подсистем моделируемой системы как раз и является наиболее существенным признаком, отличающим теоретико-игровые модели от других математических моделей. Рассматриваемая теория предполагает, что каждый участник игры имеет свои цели и располагает средствами для их достижения. Он также свободен выбирать такие способы действия, которые приближают его к реализации своих целей.

Существуют различные способы классификации игр. Ниже приводится наиболее удачная, с нашей точки зрения, классификация, изложенная в [3].

При теоретико-игровом моделировании поведения сложных систем должны быть отражены следующие обстоятельства:

1. Наличие нескольких сторон, принимающих решение и называемых коалициями действия K_D .

2. Возможности сторон, т.е. действия, которые может осуществить каждая из коалиций действия $K \in K_D$. Эти действия принято называть коалиционными стратегиями. Множество всех стратегий коалиции действия K обозначается через S_K ,

причем, не делается различий между принимаемыми решениями и действиями, предпринятыми на основании принятых решений. Результат выбора всеми коалициями действия своих стратегий с учетом ограничений, налагаемых выбором каждой из коалиций, называется ситуацией. Множество S всех ситуаций можно понимать как подмножество декартова произведения $\prod_{K \in K_D} S_K$.

3. Наличие нескольких сторон, отстаивающих некоторые интересы – коалиций интересов (K_i – множество всех коалиций интересов). Причем коалиции интересов могут не совпадать с коалициями действий и наоборот. Коалиции интересов являются в общем случае коллективами, члены которых объединены общими интересами. Различные коалиции интересов могут пересекаться и даже один такой коллектив может содержаться в другом.

4. Наличие описания целей участников конфликта, т.е. указания для каждой коалиции интересов $K \in K_i$ на множестве ситуаций S бинарного отношения предпочтения $\succsim_K$. Целью участия коалиции интересов в конфликте является достижение в некотором смысле наиболее предпочтительной для нее ситуации из S . То, что ситуация s является для коалиции интересов K более предпочтительной, чем ситуация s' обозначается как $s \succsim_K s'$. Отношение $\succsim_K$ иногда называют отношением доминирования для коалиции K .

Теперь можно дать математическое определение игры. Игрой называется система

$$\Gamma = \langle K_D, \{S_K\}_{K \in K_D}, \{S, K_i, \{\succsim_K\}_{K \in K_i}\} \rangle, \quad (1)$$

где K_D, K_i, S_K ($K \in K_D$) – произвольные множества $S \subset \prod_{K \in K_D} S_K$, а $\succsim_K$ ($K \in K_D$) – произвольные бинарные отношения на S .

Классы игр выделяются в результате наложения тех или иных условий на основные элементы игры: на коалиции действий и их стратегии, а также на коалиции интересов и их отношения предпочтения.

Игрой, в собственном смысле слова, является система (1) в том случае, когда число коалиций интересов не меньше двух.

Основным правилом классификации игр является рассмотрение числа коалиций действия. Игры с одной коалицией действия K называются нестратегическими, так как в них множество стратегий единственной коалиции действия можно отождествить с множеством ситуаций и в дальнейшем их не упоминать. Стратегические соображения в таких играх не играют роли.

Среди нестратегических игр можно выделить следующие классы игр: игры с дележами, общие игры без побочных платежей, общие кооперативные игры, игры без побочных платежей, классические кооперативные игры, арбитражные схемы.

Игры с дележами получаются путем наложения следующих условий на (1): имеется лишь одна коалиция действия, порождающая множество ситуаций S . Каждой коалиции интересов $K \in K_i$ поставим в соответствие множество $W(K) \subset S$ и зададим для каждого $a \in W(K)$ множество $K(a) \subset S$, состоящее из всех ситуаций β , для которых $a \succsim_{K(a)} \beta$. Пусть множество K_i коалиций интересов является некоторым семейством подмножеств множества игроков I . Поставим в соответствие каждому игроку $i \in I$ одномерное евклидово пространство E^i и обозначим для любого $K \in K_D$ произведение $\prod_{i \in K} E^i$ через E^K , а произведение $\prod_{i \in I} E^i$ через E^I .

Пусть $S \subset E^I$. Ситуации в рассматриваемой игре являются вещественными векторами, численные компоненты которых соответствуют игрокам. Эти векторы называются дележами.

Общая игра без побочных платежей получается, если для каждого $K \in K_i$ положить $V(K) \subset E^K, W(K) = [V(K) \times E^{I \setminus K}] \cap S$.

Общая кооперативная игра получается, если каждому $K \in K_i$, каждому $i \in I$ и множеству I поставить в соответствие вещественные числа $v(K)$, $v(i)$ и $v(I)$ и положить

$$S = \{x: x_i \geq v(i), \sum_{i \in I} x_i = v(I)\}, \quad (2)$$

$$V(K) = \{x: x \in E^K, \sum_{i \in K} x_i \geq v(K)\}. \quad (3)$$

Игра без побочных платежей получается из общей игры без побочных платежей, если в качестве K_i взять семейство всех подмножеств множества игроков I , а множества $V(K)$ подчинить следующим условиям:

- 1) $V(K)$ является выпуклым, замкнутым, непустым подмножеством E^K для любого K .
- 2) Если $x \in V(K)$, $y \in E^K$ и $x > y$, то $y \in V(K)$.
- 3) Если $K, L, K \cup L \in K_i$ и $K \cap L = \emptyset$, то $V(K) \times V(L) \subset V(K \cup L)$.
- 4) Возьмем множество S таким, что $v(I) = \{x: \text{существует такое } y \in S, \text{ что } y \geq x\}$.

Семейство $\{V(K)\}_{K \in K_i}$ называется характеристической функцией.

Классическая кооперативная игра получается объединением условий, налагаемых на общую кооперативную игру и на игру без побочных платежей, что означает присоединение к условиям (2) и (3) требований полноты: всякое подмножество I содержится в K_i и супераддитивности: если $K \cap L = \emptyset$, то $v(K \cup L) \geq v(K) + v(L)$.

Арбитражная схема получается из игр с дележами, если считать, что $K_i = I$, R — выпуклое, замкнутое и ограниченное подмножество E^I и $x \in R, S = \{y/y \in R, y \geq x\}$.

Игры с несколькими коалициями действия называются стратегическими.

Стратегические игры можно разделить на следующие классы: коалиционные игры, коалиционные игры с запрещенными ситуациями, бескоалиционные игры, бескоалиционные игры с запрещенными ситуациями, антагонистические игры, матричные игры, биматричные игры, игры на единичном квадрате, общие позиционные игры, дифференциальные игры, игры на графах, позиционные игры, позиционные конечные игры, позиционные игры с полной информацией, общие динамические игры, стохастические игры, рекурсивные игры.

Коалиционные игры с запрещенными ситуациями получаются из (1) путем наложения следующих условий. Пусть K_D и K_i — семейства подмножеств некоторого множества I , элементы которого называются игроками. Можно считать, что каждое подмножество коалиции действия само является коалицией действия. Пусть каждому игроку $i \in I$ поставлено в соответствие множество S_i индивидуальных стратегий игрока. Положим для каждого $K \in K_D$.

$$S_K = \prod_{i \in K} S_i, \quad (4)$$

$$S \subset \prod_{i \in I} S_i. \quad (5)$$

Введем для каждого $K \in K_D$ на множестве всех ситуаций S принимающую вещественные значения функцию H_K — функцию выигрыша коалиции интересов K . Будем считать, что $S' \supset S''$ для $K \in K_D$, если $H_K(S') > H_K(S'')$.

Коалиционная игра получается, если в (1) включение (5) заменить на точное равенство.

Бескоалиционная игра с запрещенными ситуациями получается, если $K_D = K_i = I$.

Бескоалиционная игра получается, если $K = K_i = I$ и $S = \prod_{i \in I} S_i$.

Антагонистическая игра получается из бескоалиционной игры, если положить, что I состоит из двух игроков I и II и для любой ситуации $S \in S_I \times S_{II}$ при-
(6)
нять $H_I(S) = -H_{II}(S)$.

Игра на единичном квадрате получается из антагонистической игры если считать, что $S_I = S_{II} = \{0, 1\}$.

Биматричная игра получается, если в антагонистической игре отказаться от условия (6), но считать множества S_I и S_{II} конечными.

Матричная игра получается из антагонистической, если считать S_I и S_{II} конечными.

В описанных выше играх стратегии понимаются как элементы абстрактных множеств, лишенных каких бы то ни было внутренних свойств.

В позиционных, дифференциальных, динамических, стохастических, рекурсивных играх и играх на графах стратегии фактически оказываются некоторыми функциями.

Общей позиционной игрой называется следующая игра. Пусть Γ — бескоалиционная игра с запрещенными ситуациями.

Рассмотрим множество X — элементы которого называются позициями и множество T , элементы которого обычно интерпретируются как моменты времени и фиксируем отображение $f: S \rightarrow 2^T \times S$, f — образы ситуаций называются партиями, и на каждой партии f_S задаются численные выигрыши $h_i(f_S)$ каждого из игроков $i \in I$. Заданные так выигрыши определяют функции выигрышей игроков $H_i(S) = h_i(f_S)$. В общей позиционной игре выигрыш игроков зависит не от ситуаций, а от их f — образов.

Одним из наиболее разработанных классов игр в теории игр являются дифференциальные игры. Они имеют значительное количество приложений, в основном технических. Но в последнее время появляются и их приложения в социальной области.

Дифференциальная игра задается следующим образом. Пусть Γ — общая позиционная игра, X — конечномерное евклидово пространство с элементами x , T — множество вещественных чисел, а $\varphi: S \times X \times T \rightarrow X$. Будем считать, что S состоит из всех ситуаций s , для которых система дифференциальных уравнений

$$\frac{dx}{dt} = \varphi(s, x, t). \quad (7)$$

Тогда каждая ситуация определяет некоторую партию, называемую в дифференциальных играх траекторией. Определяемые через φ траектории $f_S: T \rightarrow X$ оказываются однозначными функциями. Обычно изучаются дифференциальные игры, в которых стратегии игроков являются функциями от x и t .

SUMMARY

We have mathematical models of social processes in our country only as the models of economical processes. The monograph argued that it's necessary to create the models which include the output variables, reflecting strategic aims of social development: humanistic interpersonal and intergroup relations, personalities development, satisfaction of spiritual and material needs.

Some experiences of authors show the abilities of modelling methods: — automaton modelling, game theory, graph theory and others for investigation and forecasting the social processes. Special attention is paid to simulation and synergetic approach. It shows the correlations between the Markov chains and simulations on the example of simulation computer model which makes it possible to forecast life and work satisfaction of Kiev citizens. The book is completed by review of synergetic approach (catastrophe theory, systems of nonlinear differential equations). This approach results in revolutionary discoveries in biology, it is in the process of becoming a separate science, maybe it has perspectives in sociology. The last chapter is about application of synergetic approach to create the model of social life reproduction.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

ВВЕДЕНИЕ

1. Горбачев М.С. Политический доклад Центрального комитета КПСС XXVII съезду Коммунистической партии Советского Союза. — М.: Политиздат, 1986. — 126 с.
2. Федосеев П.Н. К вопросу о предмете марксистско-ленинской социологии // Социологические исследования. — 1982. — № 2. — С.27–29.
3. М.Н.Руткевич. О значении и структуре теоретического уровня социологических исследований // Социологические исследования. — 1984. — № 2. — С.15–22.
4. Шавель С.А. Социальное. Социальные отношения // Словарь прикладной социологии. — Минск: Университетское, 1984. — С.177, 199.
5. Бестужев-Лада И.В., Варыгин В.Н., Малахов В.А. Моделирование в социологических исследованиях. — М.: Наука, 1978. — 103 с.
6. Майер В.Ф., Рутгайзер В.М., Зубова Л.Г., Веретенников В.Г., Кунельский Л.Э. К вопросу о показателях социального развития в общегосударственных планах СССР // Социологические исследования. — 1981. — № 4. — С.80–81.
7. Винер Н. Кибернетика. — М.: Сов. радио, 1958. — С.202.
8. Бартоломью Д. Стохастические модели социальных процессов. — М.: Финансы и статистика, 1985. — С.19, 20.
9. Амосов Н.М., Галенко Д.М. О моделировании социального взаимодействия в малых коллективах // Количественные методы в социальных исследованиях: Информ. бюлл. ИКСИ АН СССР. — 1968. — № 8; Амосов Н.М. Моделирование сложных систем. — К.: Наук. думка, 1968. — 88 с.; Амосов Н.М. Метод моделирования социальных систем: Вопросы эвристического моделирования. — К.: ИК АН УССР, 1969. — Вып. 2; Амосов Н.М. Эвристические модели социальных систем // Кибернетика. — 1971. — № 2.
10. Форрестер Дж. Мировая динамика. — М.: Наука, 1978. — С.140.
11. Шашнов С.А. Проблемы применения имитационных моделей в социологических исследованиях: Автореф. дис. ... канд. филос. наук. — М., 1987. — 22 с.
12. Моисеев Н.Н. Математика ставит эксперимент. — М.: Наука, 1979. — С.110.
13. Проблемы использования вычислительной техники и развитие информатики / Доклад академика А.А.Самарского на XLI сессии по координации научной деятельности академии союзных республик в Ереване // Вестн. Академии наук УССР. — 1985. — № 3. — С.58.
14. Алексеева Е.Ф., Стефанюк В.Л. Экспертные системы — состояние и перспективы // Изв. АН СССР. Сер. техн. кибернетика. — 1984. — № 5. — С.51–88.
15. Представление знаний в человеко-машинных и робототехнических системах. — М.: ВИНТИ, 1984. — 352 с.
16. Геловани В.А., Ковригин О.В. Экспертные системы в медицине. — М.: Знание, 1987. — 64 с. — (Сер. математика, кибернетика; № 3).
17. Покровский В. "Селена" принимает решение // НТР: проблемы и решения: Бюллетень об-ва "Знание". — М., 1987. — № 14 (53).
18. Meadows D.H., Robinson I.M. The electronic oracle: computer models and social decisions. — Chichester ets: Wiley, 1985.

ГЛАВА I

1. Город : проблемы социального развития. — Л.: Наука, 1982. — 173 с.
2. Акофф Р.Л. Планирование в больших экономических системах. — М.: Сов. радио, 1972. — 224 с.
3. Максимов Ю.И. Стохастическое моделирование в планировании. — Новосибирск : Наука, 1981. — 286 с.
4. Пospelов Г.С., Ириков В.А. Программно-целевое планирование и управление. — М.: Сов. радио, 1976. — 440 с.
5. Михайлов Е.Д. США: проблема больших городов. — М.: Наука, 1973. — 280 с.
6. Форрестер Дж. Динамика развития города. — М.: Прогресс, 1974. — 288 с.
7. Хорев Б.С. Проблемы городов. — М.: Мысль, 1971. — 413 с.
8. Шукин Ю.М. Вопросы моделирования городских систем в развитых капиталистических странах // Экономика и математические методы. — 1978. — Т. 14. — Вып. 1. — С.160—173.
9. Мерлен П. Город. Количественные методы изучения. — М.: Прогресс, 1977. — 264 с.
10. Мальм Р., Олссон Г., Вернерюд О. К проблеме моделирования роста городов // Математика в социологии : Моделирование и обработка информации. — М.: Мир, 1977. — С.510—533.
11. Попков Ю.С., Посохин М.В., Гутнов А.Э., Шмұльян Б.Л. Системный анализ и проблемы развития городов. — М.: Наука, 1983. — 512 с.
12. Дубов Ю.А., Икоева Н.В., Имельбаев Ш.С., Ковальчук Г.С., Копейкин А.Б., Попков Ю.С., Рязанцева А.Н., Шмұльян Б.Л. Оптимальное планирование и проблемы управления развитием городских систем (обзор и задачи исследования) // Автоматика и телемеханика. — 1976. — № 6. — С.78—116.
13. Приудом Р., Брюнетьер Ж., Дюпюи Г. Имитационные модели города. — М.: Прогресс, 1979. — 187 с.
14. Попков Ю.С. Макросистемный подход в моделировании пространственной организации городов и городских агломераций / ВНИИСИ. — Препр. — М., 1979. — 48 с.
15. Шмұльян Б.Л. Энтропийная модель городской системы // Автоматика и телемеханика. — 1979. — № 10. — С.70—83.
16. Коган Л.Б. Урбанизация и городские процессы: сущность и задачи исследования // Социологические исследования проблем города и жилища 1970—1980 г.г. — Новосибирск : Наука, 1986. — С.5—18.
17. Бакаев А.А., Костина Н.И., Яровицкий Н.В. Автоматные модели экономических систем. — Киев : Наук. думка, 1970. — 192 с.
18. Бакаев А.А., Костина Н.И., Яровицкий Н.В. Имитационные модели в экономике. — Киев : Наук. думка, 1978. — 302 с.
19. Яровицкий Н.В. Гармонические методы при исследовании поведения систем вероятностных автоматов // Вероятностные автоматы и их приложения. — Казань : Изд-во Казан. ун-та, 1986. — С.44—49.
20. Костина Н.И. Организация, принципы построения и использования многоцелевой специализированной имитационной системы автоматного моделирования бюджета времени населения // Моделирование бюджета времени населения региона. — Киев, 1980. — С.3—38. — (Препр. / АН УССР. Ин-т кибернетики; 80—27).
21. Социальное проектирование. — М.: Мысль, 1982. — 254 с.
22. Социально-экономические проблемы непроизводственной сферы и услуг в свете решений XXV съезда КПСС // Тез. докл. Всесоюз. конф. "Проблемы сферы обслуживания и социального развития". — Львов, 1976. — 132 с.
23. Бюджет времени. Вопросы изучения и использования. — Новосибирск : Наука, 1977. — 287 с.
24. Заблоцкий Г.А., Богорад Е.Д. Определения функциональных связей и терри-

- ториального развития систем расселения: Методические рекомендации. — Киев, НИИ градостроительства, 1976. — 94 с.
25. Костина Н.И., Закревская Л.А. Об одном подходе к оптимизации транспортного обслуживания населения в регионе // Принципы построения автоматизированных систем на транспорте. — Киев : ИК АН УССР, 1986. — С.33—37.
26. Костина Н.И., Закревская Л.А. Специализированная система управления массивами информации для системы автоматного моделирования бюджета времени населения // Моделирование бюджета времени населения региона. — Киев, 1980. — С.38—46. — (Препр. / АН УССР. — Ин-т кибернетики; 80—27).
27. Безбородов Ю.М. Индивидуальная отладка программ. — М.: Наука, 1982. — 192 с.
28. Костина Н.И. О моделировании процессов регионального демографического развития // Экономика и математические методы. — 1978. — Т.14. — Вып. 4. — С.679—690.
29. Многоцелевая специализированная имитационная система прогнозирования развития демографических факторов региона / ДЕПРОГ /. — Киев : Реклама, 1982. — 1 с.
30. Ткачев А.А., Черепанов Ю.Г. Эффективность градостроительного проектирования. — Киев: Будівельник, 1982. — 80 с.
31. Закревская Л.А., Карминский А.М. Система формирования перспективных планов размещения жилищного строительства в крупнейших городах (на примере г.Киева) // Имитационные методы в АСУ. — Киев : ИК АН УССР, 1983. — С.31—37.
32. Сети обслуживания неполнодоступных требований и их приложение к перспективному планированию жилищного строительства. — Киев, 1984. — 35 с. — (Препр. / АН УССР. Ин-т кибернетики; 84—11).
33. Хинчин А.Я. Работы по математической теории массового обслуживания. — М.: Физматгиз, 1963. — 236 с.
34. Яровицкий Н.В., Костина Н.И., Закревская Л.А., Карминский А.М. Многоцелевая имитационная система планирования размещения жилищного строительства в крупных городах. — Киев, 1985. — 26 с. — (Препр. / АН УССР. Ин-т кибернетики; 85—53).
35. Закревская Л.А. Имитационная модель сетей обслуживания неполнодоступных требований, ее модификации и применение в планировании размещения жилищного строительства // Новые направления совершенствования АСУП. — Киев : ИК АН УССР, 1984, с.36—44.

ГЛАВА II

1. Ауман Р., Шепли Л. Значения для неатомических игр. — М.: Мир, 1977. — 357 с.
2. Мулен Э. Теория игр. — М.: Мир, 1985. — 200 с.
3. Воробьев Н.Н. Современное состояние теории игр // Теория игр. — Ереван : Изд-во АН АрмССР, 1973. — С.5—57.
4. Воробьев Н.Н. Некоторые методологические проблемы теории игр // Вопр. философии. — 1966. — № 1. — С.93—103.
5. Льюс Р.Д., Райфа Х. Игры и решения: Введение и критический обзор. — М.: Изд-во иностр. лит., 1961. — 642 с.
6. Плинер И.М. К вопросу применения математических методов для обеспечения оптимального баланса трудовых ресурсов // Тез. докл. III Всесоюз. конф. по теории игр. — Одесса: ОГУ, 1977. — С.57—58.
7. Черноволенко А.В. Моделирование распределения капиталных вложений в развитие системы баз и складов // Проектирование автоматизированных систем в промышленности: (Сб. науч. тр.) — Киев : ИК АН УССР, 1985. — С.47—52.
8. Крушевский А.В. Теория игр. — Киев : Вища школа, 1977. — 216 с.

9. Воробьев Н.Н. Теория игр для экономистов-кибернетиков. — М.: Наука, 1985. — 272 с.
10. Закревская Л.А., Черноволенко А.В. Теоретико-игровые модели стимулирования в иерархических системах // Повышение эффективности плановых и управленческих решений на производстве. — Киев : О-во "Знание" УССР, 1977. — С.10–11.
11. Воробьев Н.Н. Теория игр: Лекции для экономистов-кибернетиков. — Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1974. — 160 с.
12. Партхасаратхи Т., Рагхаван Т. Некоторые вопросы теории игр двух лиц. — М.: Мир, 1977. — 295 с.
13. Грень Е. Статистические игры и их приложения. — М.: Финансы и статистика 1985. — 259 с.
14. Шейнман Р.П. Игры против природы в задачах организации и планирования предприятия // Успехи теории игр: Тр. II Всесоюз. конф. по теории игр. — С.87–88.
15. Мандригина Г.П. Приложения теории игр к планированию профилактического обслуживания // Вторая всесоюз. конф. по теории игр: Тез. докл. — С.90–91.
16. Крушевский А.В., Закревская Л.А., Черноволенко А.В. Теоретико-игровые модели кадровой политики сферы обслуживания крупного города // Исследование операций и АСУ: Респ. межвед. науч. сборник. — Киев: Вища школа, 1978. — Вып. 11. — С.58–64.
17. Моисеев Н.Н. Элементы теории оптимальных систем. — М.: Наука, 1975. — 528 с.
18. Гермейер Ю.Б., Моисеев Н.Н. О некоторых задачах теории иерархических систем // Проблемы прикладной математики и механики. — М.: Наука, 1971. — С.30–43.
19. Гермейер Ю.Б. Введение в теорию исследования операций. — М.: Наука, 1971. — 384 с.
20. Гермейер Ю.Б. Игры с непротивоположными интересами. — М.: Наука, 1977. — 328 с.
21. Бурков В.Н. Теория активных систем. — М.: Наука. — 272 с.
22. Бурков В.Н., Кондратьев В.В. Механизмы функционирования организационных систем. М.: Наука, 1981. — 384 с.
23. Черноволенко А.В. Методы синхронизации производства // Новые направления совершенствования АСУП: (Сб. науч. тр.) — Киев : ИК АН УССР, 1984. — С.44–58.
24. Шкурба В.В. Автоматизированное управление экономическими системами: начала и перспективы // Кибернетические методы планирования, проектирования и управления. — Киев. : ИК АН УССР, 1982. — С.63–79.
25. Глушков В.М. Макроэкономические модели и принципы построения ОГАС. — М.: Статистика, 1975. — 179 с.
26. Глушков В.М., Добров Г.М., Терещенко В.М. Беседы об управлении. — М.: Наука, 1974. — 224 с.
27. Липницкий Д.Х. Оптимизация взаимосвязи санкций и поощрений в стимулировании дисциплины поставок продукции. — Донецк : ИЭП АН УССР, 1976. — 35 с.
28. Петраков Н.Я., Поманский А.Б. Модель согласования интересов производителей и потребителей в системе хозяйственных связей // Экономика и математические методы. — 1980. — Т.16. — Вып. 1. — С.25–39.
29. Экономические санкции и дисциплина поставок. — Киев : Наук. думка, 1976. — 266 с.
30. Померанцев С.Ю., Шестаков О.А. О децентрализованном распределении многомерного дефицитного ресурса // Проблемы управления в технике, экономике, биологии. — М.: Наука, 1976.

31. Мандель А.Б. Внутренние цены в управлении промышленными фирмами // Экономика и математические методы. — 1973. — Т.9. — Вып. 3. — С.500–514.
32. Бакаев А.А., Костина Н.И., Яровицкий Н.В. Имитационные модели в экономике. — Киев: Наук. думка, 1978. — 302 с.
33. Андрусевич В.В., Бурков В.Н. Процессы перераспределения трудовых ресурсов в активных системах // Автоматика и телемеханика. — 1986. — № 8. — С.72–81.
34. Бурков В.Н., Перфильева Л.Г., Тихонов А.А. Об исследовании динамики дефицита кадров трудовых ресурсов // Автоматика и телемеханика. — 1982. — № 11.
35. Заславская Т.И. О социальном механизме развития экономики // Пути совершенствования социального механизма развития советской экономики: (Сб. науч. тр.) — Новосибирск : ИЭ и ОП СО АН СССР, 1985. — С.8–28.

ГЛАВА III

1. Борецкий М.И., Кроник А.А. Опыт анализа некоторых сторон социально-психологической атмосферы античной литературной басни (Федр, Бабрий, Авнион) // Вестник древней истории. — 1978. — № 3. — С.157–168.
2. Волков И.П. Социометрические методы в социально-психологических исследованиях. — Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1970. — 88 с.
3. Гаврилец Ю.Н. О принципах моделирования сложных социально-психологических систем // Математические методы в социологическом исследовании. — М., Наука, 1981. — 334 с.
4. Дэвис Д.Э. Социология установки // Американская социология. — М.: Мир, 1972. — 392 с.
5. Кеменц Дж., Снелл Дж. Кибернетическое моделирование. — М.: Сов. радио, 1972. — 256 с.
6. Коломинский Я.Л. Психология взаимоотношений в малых группах. — Минск: Изд-во Белорус. ун-та, 1976. — 350 с.
7. Математика в социологии: Моделирование и обработка информации. — М.: Мир, 1977. — 551 с.
8. Математические методы в социологическом исследовании. — М.: Наука, 1981. — 334 с.
9. Методы социальной психологии. — Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1977. — 175 с.
10. Морено Д.Л. Социометрия. — М.: Изд-во иностр. лит., 1958. — 289 с.
11. Паниотто В.И. Об одном направлении в моделировании динамики структуры малых групп // Математические методы в социологическом исследовании. — М.: Наука, 1981. — 334 с.
12. Паниотто В.И. Структура межличностных отношений. — Киев : Наук. думка, 1975. — 127 с.
13. Паниотто В.И., Яковенко Ю.И. Анализ социометрических данных: математические методы и программное обеспечение. — М.: ИСИ АН СССР, 1989 (в печати). — С.180.
14. Роберто Ф.С. Дискретные математические модели с приложениями к социальным, биологическим и экологическим задачам. — М.: Наука, 1986. — 524 с.
15. Cartwright D., Harary F. Ambivalence and indifference in generalization of structural balance // Behav. Sc. — 1970. — 15, N 6.
16. Cartwright D. and Harary F. Structural balance; a generalization of Heider's theory. — Psychol. Rev. — 1956. — 63.
17. Davis G.A. Clustering and hierarchy in interpersonal relations, testing two graph theoretical models on 742 sociomatrix // Amer. Soc. Rev. — 1970. — 35, N 5.
18. Davis G.A. Clustering and structural balance in graphs // Hum. Relations. — 1967. — N 20.
19. Flament C. Application of graph theory to group structure. — New York, 1963. — P.313.

20. French J.R. A formal theory of social power. — Psychol. Rev. — 1956. — 63.
21. Harsanyi J. Criterion for Unanimity of French's Theory of Social Power. Studies in Social Power/Ed. D. Cartwright. — Ann. Arbor, Mich. Institute for Social Research, 1959. — Ch. 10.
22. Harsanyi J., Norman R., Cartwright D. Structural models. — New York, 1965. — P. 151.
23. Heider F. Attitudes and cognitive organization // J. Psychol. — 1946. — N 21.
24. Holland P., Leinhardt S. A method for depicting structure in sociometric data // Amer. Journal of Soc. — 1970. — 76, N 4.
25. K. Menger. On social groups and relations // Mathematical Social Sciences. — 1983. — N 6. — P. 13–25.
26. Morissette G.O. An Experimental Study of the Theory of Structural Balance // Human Relations. — 1958. — N 11.
27. The Sociometry Reader / Ed. by Moreno and others. — New York, 1960. — P. 611.
28. Taylor H.F. Balance of Small Groups. New York; Van. nostrand Reinhold Company. — 1970. — P. 234.

ГЛАВА IV

1. Моисеев Н.Н. Математика ставит эксперимент. — М.: Наука, 1979. — 255 с.
2. Словарь по кибернетике. : Киев : Укр. сов. энцикл., 1979. — 623 с.
3. Экономико-математические методы и модели для руководителя. — М.: Экономика, 1984. — 320 с.
4. Ефимов В.М., Шельман Г.Л., Чахоян В.А. Игровое имитационное моделирование расширенного воспроизводства. — М.: Изд-во Моск. ун-та. — 1982. — 50 с.
5. Природа моделей и модели природы. — М.: Мысль, 1986.
6. Маслов В. Гадкие утята и лебеди науки // Правда. — 1987. — 9 июня.
7. Шашинов С.А. Проблемы применения имитационных моделей в социологических исследованиях: Автореф. дис. ... канд. филос. наук. — М.: 1987. — С. 17.
8. Моисеев Н.Н. Человек, среда, общество. — М.: Наука, 1982. — 290 с.
9. Методы машинной имитации экономических процессов. — М.: Наука, 1982. — 220 с.
10. Киндлер Е. Языки моделирования. — М.: Энергоатомиздат, 1985. — 190 с.
11. Семья и воспроизводство структуры трудовой занятости. — Киев : Наук. думка, 1984. — 210 с.
12. Бартоломью Д. Стохастические модели социальных процессов. — М.: Финансы и статистика, 1985. — 295 с.

ГЛАВА V

1. Блауберг И.В., Юдин Э.Г. Становление и сущность системного подхода. — М.: Наука. — 1973. — 270 с.
2. Батищев Г.С. Диалектика перед лицом глобально-экологической ситуации // Взаимодействие общества и природы. — М.: Наука, 1986. — С. 175–196.
3. Яковлев А.Н. Достижение качественно нового состояния советского общества и общественные науки // Коммунист. — 1987. — № 8. — С. 22.
4. Маркс К., Энгельс Ф. — Соч. — Т. 46. — Ч. 1. — С. 104.
5. Заславская Т.И., Рывкина Р.В. Социология экономической жизни: очерки теории. — Новосибирск : Наука. Сиб. отд., 1989. — 402 с.
6. Заславская Т.И. Экономика сквозь призму социологии // Экономика и организация промышленного производства. — 1985. — № 7. — С. 3–22.
7. Горбачев М.С. О задачах партии по коренной перестройке управления экономикой // Материалы Пленума Центрального Комитета КПСС, 25–26 июня 1987 г. — М.: Политиздат, 1987. — С. 6–70.
8. Горбачев М.С. Политический доклад Центрального Комитета КПСС XXVII съезду Коммунистической партии Советского Союза. — М.: Политиздат, 1986. — 126 с.
9. Маркс К., Энгельс Ф. Соч. Т. 4. — 447 с.

10. Медеяновский А.И. Системные механизмы гомеостаза // Успехи физиологических наук. — 1982. — Т. 13. — № 3. — С. 96–126.
11. Логинов А.А. Гомеостаз: Философские и методологические аспекты. — Минск : Наука и техника, 1979. — 176 с.
12. Данилов-Данильян В.И. Методологические аспекты теории социально-экономического оптимума // Экономика и математические методы. — 1980. — Т. 15. — С. 146–164.
13. Хакен Г. Синергетика. — М.: Мир, 1980. — 404 с.
14. Маркс К., Энгельс Ф. Соч. — Т. 21. — С. 25–26.
15. Смит Дж.М. Модели в экологии. — М.: Мир, 1976. — 184 с.
16. Пригожин И. От существующего к возникающему. — М.: Наука, 1985. — 327 с.
17. Хмелько В.Е. Содержание и структура производственных отношений как предмет общесоциологического исследования: Автореф. дис. ... канд. филос. наук. — Киев, 1976. — 18 с.
18. Хмелько В.Е., Косолапов В.В. Перспективы общественного прогресса в условиях научно-технической революции // Социально-экономические проблемы НТР и идеологическая борьба. — Киев : Политиздат Украины, 1987. — С. 335–362.
19. Хмелько В.Е., Косолапов В.В. Производство — основа социально-экономического прогресса общества // Социально-политические проблемы НТР и идеологическая борьба. — Киев : Политиздат Украины. — 1987. — С. 39–70.
20. Хмелько В.Е. Общественное производство жизни: структура процессов и ее динамика // Производство как общественный процесс (актуальные проблемы теории и практики). — М.: Мысль, 1986. — С. 125–173.
21. Эйзен М., Шустер П. Гиперцикл. — М.: Мир, 1982. — 270 с.
22. Эйзен М. Самоорганизация материи и эволюция биологических макромолекул. — М.: Мир, 1973. — 216 с.
23. Marcetti C. On the Role of Science in the postindustrial Society "Logos" — the Empire builder // Technological Forecasting and Social Change. — 1983, 24. — P. 34–52.
24. Бузин А.Ю. Самоорганизация социальных процессов. — М., 1988. — 43 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
ВВЕДЕНИЕ. НОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СОЦИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ	6
ГЛАВА I. ВЕРОЯТНОСТНО-АВТОМАТНЫЕ МОДЕЛИ	17
1. Развитие городских систем: планирование и управление	17
2. Бюджет времени населения	30
3. Демографическое прогнозирование	50
4. Создание рациональной городской среды	54
ГЛАВА II. ТЕОРЕТИКО-ИГРОВОЙ ПОДХОД	63
1. Поведение в сложных социально-экономических системах	63
2. Принятие решений в условиях неопределенности	76
3. Согласование интересов в социально-экономических системах	92
4. Интересы коллективов и синхронизация производственной деятельности	103
ГЛАВА III. МЕТОДЫ ТЕОРИИ ГРАФОВ	121
1. Применение теории графов в социологии	121
2. Перспективное направление моделирования динамики структуры малых групп	130
ГЛАВА IV. ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ	142
1. Специфика имитационного моделирования	142
2. Имитационная модель воспроизводства социальной структуры населения г. Киева	147
ГЛАВА V. СИНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД	165
1. Системные предпосылки	165
2. Концептуальная и математическая модели процессов общественного производства	173
ПРИЛОЖЕНИЕ	182
SUMMARY	190
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	191

Научное издание

ПАНИОТТО Владимир Ильич
ЗАКРЕВСКАЯ Людмила Алексеевна
ЧЕРНОВЛЕНКО Александр Вилениовичи др.

ОПЫТ МОДЕЛИРОВАНИЯ СОЦИАЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ

(вопросы методологии
и методики построения моделей)

Художник обложки Н.И.Казакова
Художественный редактор И.Е.Писарева
Технический редактор Т.К.Валицкая
Операторы Т.Н.Шевченко, А.Н.Маторина
Корректоры Н.А.Стрелец, С.В.Лисицына

Сдано в набор 11.10.88. Подп. в печ. 23.02.89. БФ 02024. Формат 60х84/16. Бум. офс. № 2. Гарн. Пресс-Роман. Печать офс. Усл. печл. 11,62. Усл.кр.-отт. 11,85. Уч.-изд. л. 12,99. Тираж 900 экз. Заказ 9799 Цена 2 р. 60 к.

Оригинал-макет подготовлен в издательстве "Наукова думка". 252601
Киев 4, ул. Репина, 3.
Киевская книжно-журнальная типография научной книги. 252004
Киев 4, ул. Репина, 4.

Научная
думка

**Опыт
моделирования
социальных
процессов**