

Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт»

На правах рукописи

ВИТКОВСКИ Тадеуш
(Республика Польша)

УДК 658.012.011

**МОДЕЛИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ В КОМПЬЮТЕРНЫХ
СИСТЕМАХ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ
ПРЕДПРИЯТИЕМ В УСЛОВИЯХ РЫНОЧНОЙ
ЭКОНОМИКИ**

05.43.04 — автоматизированные системы управления и
системы обработки информации

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Киев 1995

720.5
Диссертацией является рукопись.

Работа выполнена в Института
кова НАН Украины.

ЛНБ України ім.В.Стефаника



00761292 (R)

Научный консультант: доктор технических наук, профессор
ВОЛКОВИЧ В. Л.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
академик НАН Украины
СКУРИХИН В. И.,
доктор технических наук,
профессор ГОДЛЕВСКИЙ М. Д.,
доктор технических наук,
профессор ГРИША С. Н.

Ведущая организация: Национальный университет Украины
имени Т. Г. Шевченко.

Защита состоится «16» 10 1995 г. в 15⁰⁰
часов на заседании специализированного ученого совета
Д 01.02.08 при Национальном техническом университете Ук-
раины (КПИ) по адресу:
252056 Киев 56, проспект Победы, 37, корп. 14,
ауд. 56.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Нацио-
нального технического университета Украины.

Автореферат разослан «15» 09 1995 г.

Ученый секретарь

ЛНБ ім. В. Стефаника
докт. техн. наук, профессор
АН України

РОМАНЕНКО В. Д.

АННОТАЦИЯ

Целью исследований, проводимых в работе, является изучение комплекса вопросов, связанных с разработкой систем поддержки принятия решений (СППР) и внедрением в процессы управления предприятием, функционирующим в условиях рыночной экономики, и повышения квалификации управленческого персонала в области менеджмента и управления предприятием.

Для достижения поставленной цели в работе решен ряд проблем, связанных с методологией разработки трудно формализуемых процессов принятия решений, исследования моделей и методов для решения теоретических и практических задач стратегического, агрегатированного и оперативного управления на примере предприятий с дискретным характером производства.

В диссертации автор защищает следующие положения:

1. Методика моделирования развития предприятия, использующая системные методы разработки и оценки вариантов, реализованная в виде модельной игры для разработки стратегических планов в условиях действия рыночного механизма.

1.1. Способ моделирования, включающий этапы: формулирование целей, разработка альтернативных вариантов достижения целей, анализ доходов и затрат, выбор наилучшей (с учетом влияния хозяйственного механизма) альтернативы.

1.2. Способ формирования и компоновки сценариев развития производства (от единичного изделия через группу изделий к структуре производственной программы), учитывающий выбранные предпосылки развития.

1.3. Способ выбора наилучшей альтернативы с помощью методов анализа иерархий, переработки нечеткой и неполной информации и алгоритмов машинного обучения.

2. Комплекс моделей и методов принятия решений при моделировании производственно-финансовой деятельности предприятия, получающего заказы в условиях конкурентного торга, в том числе:

2.1. Экспертная система для определения вероятностей состояния рынка и успеха в конкурентном торге, использующая методы переработки неполной информации (коэффициенты уверенности, байесовский подход и др.).

2.2. Система правил для вывода формул о состоянии рынка (с помощью нечеткой логики и теории марковских процессов принятия решений).

3. Процедура многокритериального, многошагового выбора технико-экономического предложения в условиях конкурентного торга.

3.1. Последовательность процедур выбора предложений технического объекта на примере гибких производственных модулей и систем *CAD/CAM*.

3.2. Методы и модели принятия решений в условиях неполной и неопределенной информации.

4. Методика исследования и проектирования структур производственных систем (СПС), в том числе:

4.1. Модифицированную схему исследования и проектирования СПС, учитывающую многие особенности мелкосерийного и гибкого производства в условиях рыночной экономики.

4.2. Алгоритмы оптимизации связей между элементами производственной системы и исследования ее динамических характеристик.

4.3. Логические правила для определения коэффициента закрепления операций, связывающего тип технологического процесса, форму организации производства и вид технической базы производственной системы.

4.4. Алгоритм упорядочения объектов на основе теории распознавания образов, в котором нечеткость результата классификации объекта устраняется приписыванием его к тому классу объектов, которому соответствует самое большое значение принадлежности.

4.5. Подходы к построению функции принадлежности вида «упорядочение объектов от заданной последовательности к обратной» и определению нечетких значений истинности утверждений в зависимости от используемых схем выбора правил предпочтения.

4.6. Система уравнений для нахождения предельных значений функции $Q(j)$ — зависимости управляющего параметра Q от номера j операций производственного процесса, при которых с вероятностью $p = 0,95$ выбираются заданная и обратная ей перестановки.

4.7. Система логических формул для вывода правил предпочтения в задачах упорядочения заданий.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Осуществляемые в настоящее время коренные преобразования в экономике страны решительным образом изменяют среду функционирования хозяйственных организаций. В этих условиях предприятия сталкиваются с новыми трудностями и возможностями, которые создают рыночные отношения: появление конкуренции, ужесточение требований внутреннего и внешнего рынка, а также продолжающееся увеличение сложности изделий, сокращение сроков их выпуска и др., что вызывает необходимость роста производительности труда и повышения качества продукции. Решение этих проблем требует, прежде всего, внедрения самых эффективных систем управления предприятием, использующих интеллектуальные системы поддержки принятия решений, и систем повышения квалификации работников в области менеджмента.

Методические, теоретические и практические вопросы эффективного планирования и управления требуют серьезного, глубокого их исследования и развития. Это касается, в первую очередь, вопросов как стратегического планирования, где существенно изменяется сама методика разработки стратегии развития предприятия, вопросов агрегатированного планирова-

ния, при котором постоянно надо иметь в виду возможность получения производственных заказов в ходе конкурентных торгов, так и оперативного управления, при котором следует учитывать особенности гибкого производства и возрастающих требований рынка. Анализ эксплуатируемых систем управления производством говорит о том, что, хотя они и выполняют основные функции, тем не менее не всегда с их помощью можно решить возникающие на практике производственные задачи и их нельзя в полную меру включить в процесс принятия решения. Главная причина тому — ограниченный набор содержащихся в них методов и моделей, несовершенство экономико-математических моделей, применяемого математического аппарата описания и исследования процессов управления. Поэтому по-прежнему актуальными являются исследования в области создания новых процедур и моделей, учитывающих многие требования, предъявляемые к разработке иерархической СППР, на основе современного математического аппарата.

Проведенный выше анализ проблемной ситуации в области создания и внедрения СППР дает возможность увидеть актуальность исследования, предпринятого в данной работе.

Предмет исследования — комплекс согласованных моделей и методов в виде компьютерных СППР для управления предприятием на стратегическом, агрегированном и оперативном уровнях.

Методы исследований. Основным математическим аппаратом исследований, используемым в данной работе, являются методы исследований операций, имитационное моделирование, приближенные методы рассуждений, использующие эвристические подходы и нечеткую логику, широко применяемые в настоящее время в системном анализе и при построении экспертных систем (ЭС).

Модели стратегического планирования опираются на системный подход, метод анализа иерархий и метод сценариев, действие которых проявляется в разработке процедур в виде последовательности действий, состоя-

щих из качественного и количественного анализа и определения дерева целей, композиции, селекции и выбора наилучшей с точки зрения сформулированных целей альтернативы.

В моделях агрегатированного управления и выбора решений в условиях риска и неопределенности используются нечеткое динамическое программирование, индуктивные алгоритмы обучения, методы теории игр, теории вопросников и др.

В моделях оперативного управления и проектирования СПС используются различные методы оптимизации, теории расписаний, эвристические правила предпочтения, способы рандомизации, декомпозиции задач, методы распознавания, марковские процессы.

Процедуры реализуются в диалоговом режиме. При решении конкретных задач применяются различные подходы к многокритериальной оценке решений, теория нечетких множеств, теория полезности, стохастическое доминирование, теория группового принятия решений и другие методы переработки неполной информации, в основном с помощью нечетких моделей представления и приобретения знаний.

Исследования проводились с помощью имитационных модельных экспериментов, оптимизационных процедур, реализованных в системах принятия управленческих решений, и деловых и производственных игр.

Научная новизна исследования определяется тем, что впервые для рассматриваемых предметных областей достаточно глубоко используется теория нечетких множеств при разработке моделей и методов для представления и приобретения знаний в компьютерных СППР. Процесс принятия решения на различных иерархических уровнях управления предприятием рассматривается с единой позиции как многошаговые, многокритериальные процедуры, позволяющие создать целостный комплекс взаимосвязанных моделей для поддержки принятия эффективных решений в условиях неполной и нечеткой информации.

Вклад в теорию и практику создания компьютерных систем поддержки принятия решений.

Сформулированы требования, предъявляемые к разработке иерархической системы моделей управления предприятием с дискретным характером производства; разработана процедура моделирования развития предприятия (на основе системных подходов) с помощью метода сценариев и анализа иерархий; предложены модели и программное обеспечение для моделирования производственно-хозяйственной деятельности предприятия, получающего заказы путем конкурентного торга; разработан системный подход к моделированию процесса принятия решений в условиях торга при частичной и полной неопределенности, учитывающий различные факторы при многокритериальном выборе; предложены алгоритмы и программы для разработки квазиоптимальных планов-графиков загрузки производственного оборудования и исследования СПС.

Для рассматриваемых проблем и полученных результатов характерно следующее.

Впервые широко рассмотрено использование системного подхода — метода анализа иерархий — для разработки стратегии развития предприятия с дискретным характером производства, других подходов (в том числе алгоритмов машинного обучения) для генерирования и классификации вариантов намерений развития производства, а также методов переработки неполной информации для их оценки.

Комплексно рассмотрены проблемы принятия решений конкурирующими предприятиями в условиях деловой игры, максимально приближенных к реальной действительности. Разработаны и использованы различные методы и модели для принятия решений в условиях риска. Особенностью этой деловой игры является разработанная ЭС для определения вероятности успеха в торге, а также введение понятия «состояние рынка» и других логических выражений, характеризующих зависимость «спрос-предложение-цена» (модель покупки производственных мощностей, алгоритм

определения вероятности успеха в торге, использующий нечеткие лингвистические переменные).

В отличие от стандартной схемы покупки изделия представлен системный формализованный подход к оптимизации выбора объектов в конкурентном механизме, а также комплекс методов и моделей для принятия решений с помощью разработанной компьютерной СППР.

Разработана СППР для оптимизации выбора объекта торгов как их организатором, так и их участниками, позволяющая ускорить процесс выбора, улучшить пересмотр многих вариантов с точки зрения эффективности процесса принятия решений.

Предложена модифицированная схема оптимального проектирования СПС и их гибкости с учетом стратегической политики развития предприятия, разработаны эффективные алгоритмы оптимизации связей между элементами производственной системы. Особенностью этой части работы является построение функции принадлежности «упорядочение объектов», используемой при исследовании и решении многих вопросов моделей оптимизации работы производственных систем.

Исследована эффективность правил предпочтений упорядочения заданий с помощью многофакторного и многокритериального анализа.

Практическая ценность работы подтверждается применением предложенных методик для разработки интеллектуальных систем поддержки принятия управленческих решений.

Разработаны процедуры, алгоритмы, модели и программное обеспечение, которые используются при принятии решений в системах управления предприятиями с дискретным характером производства, а также при обучении работников управления хозяйственными организациями в центрах повышения квалификации руководящих кадров.

Область применения результатов работы. Отдельные фрагменты работы были реализованы в период с 1984 по 1994 г. в соответствии с координационными планами проведения научных исследований, а именно:

- работы, выполняемые по узловой подпроблеме 05.2.5. «Развитие методов проектирования комплексной модернизации предприятий машиностроительной промышленности» в Бюро по исследованию и проектированию развития металлургической и машиностроительной промышленности «Промаш» (г. Варшава, 1984 г.) на базе завода прецизионных станков «Авия» (г. Варшава);
- работы по проблеме 3.4.4. Центрального плана исследований и разработок, связанных с разработками пакета компьютерных деловых игр в ИГАиУНХ — Институте государственной администрации и управления народным хозяйством (г. Варшава, 1985—1988 гг.);
- исследования, проведенные в Институте кибернетики имени В.М. Глушкова НАН Украины (г. Киев) в отделении систем управления (отделы автоматизированных систем управления производством и исследования и проектирования сложных систем) с 1988 по 1991 г.
- Исследования, продолженные в Варшавском техническом университете в Институте организации производственных систем.

Сфера применения результатов работы включает широкий класс организационных и производственных систем, используемых для хозяйственных, исследовательских и учебных целей.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались на следующих научно-практических конференциях и научных семинарах:

- международная конференция «Комплексное развитие машиностроительного предприятия» (г. Варшава, 19—23 ноября 1984 г.);
- международная конференция «Имитационное моделирование хозяйственных механизмов» (г. Варшава, 5—10 ноября 1987 г.);
- семинары для руководящих работников хозяйственных организаций в ИГАиУНХ (г. Варшава, 1985—1990 гг.);

• научно-практическая конференция «Стратегия развития НПО «Ротор». Производительность труда: рост в 15 раз за 15 лет» (г. Черкассы, 17–18 мая 1990 г.);

• научно-практическая конференция «Моделирование плановых расчетов и диалоговая оптимизация» (г. Севастополь, 3–7 сентября 1990 г.);

• V Симпозиум Варшавского Технического университета «Проблемы конструирования и эксплуатации сельскохозяйственных машин и оборудования» (г. Плоцк, 23–24 сентября 1991 г.);

• семинар 1 Научного совета НАН Украины по проблеме «Кибернетика» в секции «Функциональные проблемы интегрированных автоматизированных систем управления» в Институте кибернетики имени В.М. Глушкова НАН Украины (г. Киев, 13 июля 1989 г., 21 сентября 1990 г., 6 апреля 1993 г.);

• II Всепольская конференция операционных и системных исследований «BOS-91» по темам «Оптимизация: задачи, методы и алгоритмы», «Модели принятия решений: экономика, охрана среды, медицина, техника, боевые системы» (г. Варшава, 23–25 апреля 1991 г.);

• IFORS 2nd Specialized Conference on «Transition to Advanced Market Economies» (Warsaw, June 22–25, 1992);

• IFAC/IFORS/IIASA/TIMS Workshop on «Support Systems for Decision and Negotiation Process» (Warsaw, June 24–26, 1992);

• III Конференция операционных и системных исследований «BOS-93» «Моделирование и компьютерная поддержка хозяйственных решений» (г. Варшава, 21–23 сентября 1993 г.);

• Всепольская конференция «Анализ решений. Экспертные системы. Применение компьютерных систем» (г. Варшава, 25–27 мая 1994 г.);

• семинар в Институте организации производственных систем Варшавского Технического университета «Модели и методы принятия решений в управлении предприятием» — тез. докт. дисс. (г. Варшава, 27 марта 1995 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано свыше 40 работ.
Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы (311 наименований) и приложения. Основной объем работы 345 страниц, в том числе 45 рисунков и 63 таблицы; объем приложения — 87 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность решаемых проблем, показаны новизна и практическая ценность работы, сформулированы основные положения, которые выносятся на защиту.

В первой главе на основании обзора литературных источников и анализа существующей практики управления промышленными предприятиями обосновываются цели и задачи исследования.

Вопросам создания СППР для систем управления предприятием посвящены ставшие классическими работы Р. Беллмана, А.В. Борисова, Э. Бубницкого, В.Н. Буркова, Г. Вагнера, В.Л. Волковича, М. Девиса, В.В. Дружинина, Д. Дюбуа, В.Е. Жуковина, Л. Заде, М.З. Эгуровского, Я. Каспшика, Я. Клира, Э. Кофлера, А. Кофмана, Р. Куликовского, Н.Г. Малышева, В.С. Михалевича, Н.Н. Моисеева, К. Негойце, Т. Нейлора, С.А. Орловского, С. Осуги, З. Павляка, В.В. Подиновского, Э.В. Попова, Д.А. Поспелов, А. Прада, В. Радзиковского, Б. Руа, Т. Саати, Ю. Саэки, Х. Уэно, Р. Ягера и др.

К настоящему времени сформировалась точка зрения, согласно которой структура систем управления предприятием должна отвечать принципам построения иерархических многоцелевых систем. Практика показывает, что СППР применяются как на стратегическом, агрегированном, так и на оперативном уровнях управления предприятием. Основными функциями СППР являются распознавание ситуации принятия решений, формирование альтернативных вариантов решений в создавшейся ситуации,

формализация модели, параметрический анализ, выбор моделей и методов решения, генерация решений с допустимыми значениями, проведение необходимых вычислений, оценка решений по одному или нескольким критериям.

В общем случае процесс принятия решений можно представить моделью в виде $\langle S_0, T, Q | S, A, B, Y, f, K, Y^* \rangle$, где S_0 — проблемная ситуация; T — время, отпущенное для принятия решения; Q — потребные для принятия решения ресурсы (знания экспертов, информационные, информационно-поисковые и прочие системы); $S = \{ S_1, S_2, \dots, S_n \}$ — множество альтернативных ситуаций, доопределяющих проблемную S_0 ; $A = \{ A_1, A_2, \dots, A_k \}$ — множество целей, определяющих принятие решения; $B = \{ B_1, B_2, \dots, B_l \}$ — множество ограничений; $Y = \{ Y_1, Y_2, \dots, Y_m \}$ — множество альтернативных вариантов решения; f — функция предпочтения ЛПР; $K = \{ K_1, K_2, \dots, K_r \}$ — критерий выбора наилучшего решения; Y^* — оптимальное решение.

Рассмотрены интеллектуальные СППР, дающие возможность ЛПР пользоваться в своей деятельности диалоговыми многокритериальными процедурами оптимизации, методами анализа полезности и риска, методами выявления предпочтений, моделями принятия решений (в том числе и группового), базирующимися на неполной и нечеткой информации. Описаны требования, предъявляемые рыночным механизмом к разработке моделей управления предприятием, а также требования алгоритмического характера к разработке иерархической системы моделей управления предприятием.

Описаны отдельные стороны процессов принятия решений с помощью моделей исследования операций, согласования управленческих решений, многокритериальных моделей оптимизации и выбора, а также с помощью небольших ЭС, процедур в виде деловых игр, производственного и учебного назначения и др.

Анализ задач принятия решений в системах управления предприятиями показал, что многие современные системы, которые обладают базами данных и знаний и надежными системами управления ими, обеспечивают выполнение основных функций управления. Однако стандартным системам управления производством присущи недостатки, выражающиеся в несовершенстве методов построения достоверных стратегических планов и являющиеся следствием трудностей при удовлетворительном предвидении производственных заказов, отсутствия развитых методов оптимизации распределения производственных задач и координации производственных процессов во времени и др. Все это объясняется либо объективными причинами, либо неадекватностью математического аппарата, используемого для моделирования процессов принятия решений в условиях неполной и неточной информации. В последнее время для решения этих задач разрабатываются разнообразные СППР для всех уровней управления предприятием [8, 9, 16, 22].

Поэтому в работе особое внимание уделено разработке стратегии развития предприятия в рыночных условиях, моделированию производственно-финансовой деятельности предприятия, получающего заказы в условиях торга, задачам оперативного планирования для гибкого производства, а также исследованию СПС, на стабильность которой влияют постоянно изменяющиеся в условиях рынка объем, ассортимент и технология изготовления продукции.

Во второй главе описана процедура выбора стратегии развития предприятия. Эта процедура, использующая метод сценариев и анализа иерархий, состоит из пяти тематических блоков, тесно связанных между собой, а именно: блок формулирования целей (ЦЕЛИ), блок генерирования альтернатив развития производства (АРП), блок оценки затрат (ОЗ), блок анализа финансовых возможностей реализации целей (АФВРЦ) и блок выбора рационального варианта развития (ВРВР) [2, 4, 10, 33].

Формализованный вид процедуры позволяет обрабатывать традиционным методом или с использованием ЭВМ массивы данных, сгруппированные следующим образом: ZR — массивы, характеризующие текущее состояние и исходные предпосылки развития предприятия; KW (SW) — сценарии развития производства единичного изделия (групп изделий), характеризующие изделие и их группы в базовом году T_b , а также последствий предлагаемого развития объемов производства, технологии и кооперации с другими предприятиями в целевом году T_c ; PW — массивы, характеризующие предприятие (производственные площади, количество рабочих мест, объем занятости оборудования и др.); PS — массивы критериев селекции программы предполагаемой к реализации продукции и факторов, ограничивающих ее объем в T_c -м с году; PP — массивы данных о выбранных в ходе перебора программах производства; NK — массивы данных с оценками затрат на изготовление реализуемой продукции; AF — массивы данных финансового анализа мероприятий по развитию предприятия в течение периода (T_b, T_c) с учетом регламентов действующего и прогнозируемого экономического механизма.

Для полного варианта процедуры информационным входом являются таблицы сценариев KW , для остальных вариантов — таблицы SW или PP и ZR . Информационный выход во всех вариантах суть массивы NK и AF , получаемые на ЭВМ.

Оптимальный вариант годовой производственной программы W_{IJM} на T_c -й год, определенной как $W_{IJM} = W_{IJM}(1) \cup W_{IJM}(2) \cup \dots \cup W_{IJM}(n) \cup \dots \cup W_{IJM}(a)$, — это такой вариант, реализация которого должна гарантировать достижение наилучшего финансового результата $\{R\} = \{R_1, R_2, \dots, R_n, \dots, R_k\}$, необходимого для развития предприятия; W_{IJM} — вариант годовой программы производства (символы I, J, M обозначают соответственно результирующий объем производственной программы, вариант технологии производства и наличие кооперативных связей); $W_{IJM}(n)$ — вариант производственной программы n -й группы изделий в T_c -м году, $n \in 1, a$ (a — коли-

чество групп изделий); $|A_k|$ — множество вариантов, допущенных к детальному финансово-экономическому анализу на ЭВМ, ограниченное минимальным временем, а также практическими возможностями ЛПР, участвующих в процессе; $\{R\}$ — финансовый результат предприятия после реализации предусматриваемых мероприятий по развитию предприятия. Под рациональным вариантом производственной программы понимается вариант, который обладает наилучшим соотношением между отдельными составляющими элементами финансового результата $\{R_i\}$ [32].

Предмет действия блока ЦЕЛИ — квантификация интересов, противоречий, событий, способствующих развитию предприятия, выделение и преобразование их в контексте стратегии развития. Процедуры распознавания в этом блоке касаются проблем анализа внешней (по отношению к предприятию) среды, определения сильных и слабых сторон предприятия и идентификации главной цели предприятия. Например, внедрение интегрированной системы управления CAD/CAM как стратегического направления развития предприятия рассматривается с помощью метода иерархического анализа. Сценарии развития производства KW содержат характеристики каждого изделия n из всего ассортимента предприятия, описывающие мероприятия по развитию производства параметрами $i, j, m, W_{ijm}(n)$ в T -м году. Здесь $W_{ijm}(n)$ — вариант производственной программы n -й группы изделий с i -м вариантом объема производства, j -м вариантом технологии, m -м вариантом расхода элементов, поступающих по каналам внешней кооперации. Задачи, входящие в этот блок, являются трудно формализуемыми. Для их решения применяются разнообразные методы и модели. Так, при планировании внешнего спроса на продукцию предприятия для определения степени совершенства изделий или некоторых показателей стратегических задач используются матрицы оценок критических факторов успеха.

В экспериментах с полной процедурой моделирования основное значение приобретает блок формирования и компоновки сценариев развития производства групп изделий, что связано с принятой формой построения

процедуры: от единичного изделия, группы изделий через структуру производственной программы к оценке затрат и анализу экономических возможностей реализации предполагаемого варианта развития.

Блок АРП (в соответствии с принятыми мероприятиями по развитию) рассматривает вопросы формирования основной деятельности предприятия, т.е. определения его производственной программы, трудоемкости применяемой технологии, энергозатрат, материалоемкости, степени кооперации производства и других непосредственных факторов производства. Наилучшие альтернативы производственной программы i -го года выбираются в ходе имитационного моделирования путем отсеивания неперспективных альтернатив с помощью методов нечеткого линейного программирования.

В этом блоке выполняются также частные процедуры: формирование вариантных сценариев развития производства групп изделий; компоновка теоретически возможных вариантов выполнения годового объема производства изделий; селекция (перебор) вариантов программы производства и определение объема непосредственных факторов производства.

Разработаны требования к вычислительной программе композиции и селекции вариантов развития W_{JM} , которые являются, в свою очередь, композицией соответствующих вариантов сценариев развития производства всех групп изделий $W_{jm}(n)$.

Классификация вариантов развития производства осуществляется методами машинного обучения. Каждый вариант характеризуется следующими атрибутами (с указанием их лингвистических значений): вид рынка; объем производства; количество ассортиментов изделий; количество типов технологий производства изделий; показатель занятости рабочих; использование узлов и деталей, получаемых по кооперации от других предприятий; потребление материалов и энергоносителей; уровень загрузки производственных мощностей (ПМ); степень сложности и издержки технической подготовки производства; риск выполнения программы (величина ожидае-

мой прибыли). Для этих атрибутов разработаны правила, по которым устанавливается принадлежность рассматриваемого варианта к отдельным классам, проводится сравнение вариантов по трудоемкости их вычислений и т.д.

Полученные варианты годовой программы подвергаются селекции по установленным критериям на ЭВМ, которая автоматически удаляет из дальнейшего рассмотрения те из них, которые выходят за пределы ограничений. Формально процесс селекции можно представить последовательностью $F_1 \rightarrow F_2 \rightarrow \dots \rightarrow F_{k-1} \rightarrow F_k$, где F_i — критерий селекции (значение технико-экономического ограничения развития производства), принимаемый на i -м этапе селекции, $i \in 1, k$; символ \rightarrow означает последовательность применения критерия в процессе селекции или очередность корректировки, если не выполняется условие $r_{\min} > |A_k| > r_{\max}$, другими словами, когда количество отобранных вариантов r после селекции на ЭВМ больше (меньше), чем намечено для подробного экономико-финансового анализа.

Селекция осуществляется по правилам конъюнкции — каждый вариант производственной программы W_{IJM} должен удовлетворять одновременно всем критериям селекции $W_{IJM} \in \{A_k\} \Leftrightarrow F_1 \wedge F_2 \wedge \dots \wedge F_{k-1} \wedge F_k$. Удовлетворяющие этому условию варианты образуют множество $\{A_k\}$, которое описывается такими характеристиками: продукция для внутреннего и внешнего рынка; трудоемкость; непосредственные затраты на материалы и элементы, получаемые по кооперации; затраты на техническую подготовку производства и др. Это множество W_{IJM} подвергается затем детальному экономико-финансовому анализу.

Если блок АРП касается только проблем основного производства, то блок ОЗ охватывает проблемы в масштабе всего предприятия. В блоке ОЗ сравниваются величины, характеризующие каждую W_{IJM} , с затратами предприятия в T_c -м году, оценивается требуемая занятость рабочих и производственного оборудования, оплата труда, капиталовложения и пр. Оценки

затрат $\{ N \}$ по всем статьям расходов касаются каждого варианта $W_{IJM} \in \{ A_k \}$, представляются в таблицах НК.

Блок АФВРЦ осуществляет анализ финансовых возможностей реализации каждого варианта W_{IJM} , особенно образования и распределения прибыли, фонда развития и возможностей уплаты кредитов, которые определены массивом $\{ R \}$. Для Блока разработана модель оценки мероприятий по развитию. Она состоит из нескольких алгоритмов, учитывающих различные схемы образования и распределения прибыли. В конце процедуры каждому мероприятию по развитию предприятия соответствует выбранный вариант $W_{IJM} \in \{ A_k \}$, характеризуемый вектором $W_{IJM} = \{ \{ N \}, \{ R \} \}$.

Блок ВРВР проводит оценку наиболее рационального варианта с помощью многокритериальной модели и метода анализа иерархий. Процесс применения последнего включает следующие основные этапы [31]:

- описание проблемы и определение задачи анализа; конструирование иерархии, начиная с вершины структуры (определение цели с точки зрения управления), через промежуточные уровни (определение критериев оценки), в направлении самого нижнего уровня — множества выбранных для оценки альтернативных решений;

- конструирование матрицы и множества матриц попарных сравнений критериев и альтернатив (производственной программы);

- проведение иерархического синтеза вектора глобальных приоритетов $Y_g = Y_1, Y_2, \dots, Y_n$;

- определение согласованности всей иерархии с помощью формулы $(y_1 ИС_1 + \dots + y_i ИС_i + \dots + y_n ИС_n) / ИС_R$, где $ИС_i$ — индекс согласованности соответствующей матрицы; y_i — приоритет соответствующего критерия; $ИС_R$ — случайный индекс согласованности, соответствующий размерам каждой взвешенной приоритетами матрицы.

Кроме метода анализа иерархий, используемого при выборе наилучшего варианта развития предприятия, в работе рассматриваются и другие

методы, в частности основанные на нечеткой статистической теории принятия решений, учитывающие значения полезности вероятностной информации $I(e)$, совершенной информации $I(e_\infty)$, нечеткой информации $I(E)$, совершенной нечеткой информации $I(E_\infty)$ и теории Демпстера—Шеффера.

Отказ от плановой экономики и переход к рыночным отношениям был связан с большими затруднениями в сфере производства, разрывом существовавших кооперационных связей, что послужило главной предпосылкой для разработки в ИГАиУНХ (г. Варшава) деловой игры «Кооперация» [5]. В ее основу положены модели кооперации между предприятиями, связанными договорами и договоренностями различных форм, действующими в реальных финансово-экономических условиях. При моделировании производственно-финансовой деятельности предприятий в деловой игре «Кооперация», как и в процедуре моделирования развития, основным исследовательским инструментом являются динамические имитационные модели.

В третьей главе рассмотрены проблемы реализации стратегических и тактических целей на примере предприятия, получающего заказы путем конкурентных торгов, что характерно для многих предприятий, успешно функционирующих в рыночных условиях [6, 7, 18].

Исследованы и дан сравнительный анализ детерминированного и нечеткого подходов к решению задачи линейного программирования для выбора наилучшей стратегии агрегатированного планирования.

В основной модели агрегатированного планирования целевая функция имеет вид

$$L = T - V = (A_R X_R + A_P X_P + A_B X_B + A_D X_D + A_I I + A_H H + A_F F) - (C_D D + C_S S),$$

где L — прибыль; T — затраты; V — доход; A_R — затраты, не зависящие от объемов производимой продукции; A_P — стоимость материалов и затраты, зависящие от объемов производимой продукции; A_B — стоимость продукции, произведенной по кооперативным каналам (причем $A_P + A_R < A_B < A_D$); A_D — стоимость продукции, произведенной сверхуроч-

но ($A_D > A_F + A_R$); A_I — стоимость хранения продукции; A_H и A_F — стоимость расширения и сокращения ПМ соответственно; X_R , X_P , X_D — ПМ, объем производства в основное и дополнительное время соответственно; X_B — объем производства у соисполнителей; I — продукция на складе; H и F — увеличение и сокращение ПМ соответственно; C_D и C_S — средняя цена единицы продукции заказов годового плана D и контрактных заказов S соответственно, причем C_D может быть как больше, так и меньше C_S .

Были исследованы стратегия развития ПМ, стратегия передачи заказов, стратегия перепроизводства и стратегия по заказам (с заключением и без заключения контрактов). Эксперимент показал, что нечеткий подход к выбору стратегии делает последний более убедительным.

Описаны принципы хозяйственной деятельности предприятия и постановка задачи, имеющая следующий вид. Предприятие, кроме государственного заказа, который вообще может отсутствовать, получает заказы в конкурентном торге в зависимости от предлагаемой цены на его реализацию. Во время деловой игры известно количество предприятий m , участвующих в торге, и количество работ n , представленных на торг. В каждом периоде (квартале) планирования время реализации и стоимость заказов в определенных пределах генерируются с помощью генераторов случайных чисел с равномерным и нормальным законами распределения. Генерируется также определенное соотношение между мелкими и большими заказами.

Решения, принимаемые предприятием, касаются таких вопросов: сколько заявок на заказы предлагать в конкурсе? какие выбрать заказы? какую цену предложить для каждого заказа? нужно ли и (если да, то на сколько) увеличить (уменьшить) собственные ПМ?

В [37, 38] описаны вычислительные процедуры деловой игры «GRABUD», которая моделирует финансово-производственную деятельность предприятий, получающих заказы через конкурентный торг. Для

принятия решений в этой игре разработана система моделей и методов, составляющих главным образом аппарат нечеткой логики.

Оптимальная структура заказов выбирается путем динамического программирования. Функции ценности заказов, а вместе с ними и оптимальная стратегия находятся с помощью определенных рекуррентных соотношений.

Модель оперирует несколькими типами заказов (мелкие, средние, большие, очень большие), предлагаемых в конкурентном торге, поэтому ценность заказа описывается также с помощью трапециевидных нечетких интервалов. Каждый интервал M_i представлен пятеркой чисел $M_i = (\underline{m}_i, \bar{m}_i, \alpha_i, \beta_i, h_i)$, где \underline{m}_i и \bar{m}_i — соответственно нижнее и верхнее модальные значения интервала; α_i и β_i — левый и правый коэффициенты нечеткости, h_i — высота нечеткого интервала.

Выбирая структуру заказов, кроме учета возможности получения максимальной прибыли от их реализации, учитывают также фактор «плотности» вероятностного поступления предложений на каждую работу. В экспертной системе «Торг» используются основанные на теореме Байеса правила определения вероятности $P(H_i | E_i)$ поступления предложения на заказ Z_i от участника K_i . В базе знаний системы такие правила имеют вид «Если на заказ Z_i поступило предложение, то его, возможно, представило предприятие X ». В правилах предпосылками являются некоторые события E_i , а выводами — некоторые гипотезы H_i . При вычислении $P(H_i | E_i)$ используются статистические данные, накопленные в предыдущие этапы моделирования.

В задаче конкурентного торга для определения величины наценки и вероятности события, формируемой экспертом, используется лингвистическая переменная $W = \langle \text{«величина»}, T_W, X \rangle$, где $T_W = \{ \text{«очень малая»}, \text{«малая»}, \text{«средняя»}, \text{«большая»}, \text{«очень большая»} \}$ — терм-множество лингвистической переменной W ; X — базовое множество переменной W .

Терм «очень малая» характеризуется нечеткой переменной < «очень малая», T, X > и т.д. Косвенным методом строятся функции принадлежности $\mu_{C_i}(x)$ соответствующих нечетких множеств, определяются максимальные погрешности экспертного опроса — погрешности формирования экспертом матрицы попарных сравнений. Затем используются следующие правила вывода [19, 20]:

$$\theta_{\text{обср}} \Leftrightarrow n\uparrow\uparrow \wedge m\downarrow\downarrow; \theta_{\text{бср}} \Leftrightarrow (n\uparrow \wedge m\downarrow\downarrow) \vee (n\uparrow\uparrow \wedge m\downarrow);$$

$$\theta_{\text{лнспр}} \Leftrightarrow (\bar{n} \wedge m\downarrow\downarrow) \vee (n\uparrow \wedge m\uparrow) \vee (\bar{n}\uparrow\uparrow \wedge \bar{m});$$

$$\theta_{\text{лнспр}} \Leftrightarrow (n\downarrow \wedge m\downarrow\downarrow) \vee (\bar{n} \wedge m\downarrow) \vee (n\uparrow \wedge \bar{m}) \vee (n\uparrow\uparrow \wedge m\uparrow);$$

$$\theta_{\text{нспр}} \Leftrightarrow (n\downarrow\downarrow \wedge m\downarrow\downarrow) \vee (n\downarrow \wedge m\downarrow) \vee (\bar{n} \wedge \bar{m}) \vee (n\uparrow \wedge m\uparrow) \vee (n\uparrow\uparrow \wedge m\uparrow\uparrow);$$

$$\theta_{\text{хнспр}} \Leftrightarrow (n\downarrow\downarrow \wedge m\downarrow) \vee (n\downarrow \wedge \bar{m}) \vee (\bar{n} \wedge m\uparrow) \vee (n\uparrow \wedge m\uparrow\uparrow);$$

$$\theta_{\text{зхнспр}} \Leftrightarrow (n\downarrow\downarrow \wedge \bar{m}) \vee (n\downarrow \wedge m\downarrow) \vee (\bar{n} \wedge m\uparrow\uparrow);$$

$$\theta_{\text{нбср}} \Leftrightarrow (n\downarrow\downarrow \wedge m\uparrow) \vee (n\downarrow \wedge m\uparrow\uparrow); \theta_{\text{онбср}} \Leftrightarrow (n\downarrow\downarrow \wedge m\uparrow\uparrow).$$

Строится функция принадлежности с лингвистической переменной «вероятность успеха в конкурентном торге». «Состояние рынка» описывается множеством термов T_p : $T_p =$ < «очень благоприятное», «благоприятное», «значительно лучше нормального», «лучше нормального», «нормальное», «хуже нормального», «значительно хуже нормального», «неблагоприятное», «очень неблагоприятное» >. В краткой записи лингвистические переменные терма T_p представлены следующим образом: $T_p =$ (обср, бср, злнспр, лнспр, нспр, хнспр, зхнспр, нбср, онбср). Кроме того, состояние рынка θ описывается функцией $\theta = f(m, n)$. Символами « $\uparrow\uparrow$ », « \uparrow », « $\bar{\quad}$ », « \downarrow », « $\downarrow\downarrow$ » обозначены переменные типа «очень большое», «большое», «среднее», «малое», «очень малое», соответствующие значениям m и n .

Аналогично определяется состояние предприятия как функции производственных издержек и величины наценки (или только издержек, принимая наценку как управление).

Цена связывается с вероятностью успеха в торге предложений на заказ. Тем самым, задавая цены (наценки), можно в ЭС моделировать поведение ЛПП. База знаний содержит совокупность правил вывода [21, 24]:

- < IF наценка растет, THEN вероятность успеха уменьшается >
- < IF наценка уменьшается, THEN вероятность успеха растет >
- < IF рыночные условия ухудшаются, THEN наценка уменьшается >
- < IF рыночные условия улучшаются, THEN наценка растет > и т.п.

В ЭС реализуется цепь рассуждений, опирающаяся на основные теоремы теории вероятностей. При вероятностном анализе интересующих пользователя величин применяется нечеткая логика. При этом анализируются термы различных лингвистических переменных, которые используются в базе знаний для логических выводов.

В ЭС применяется один из способов переработки нечеткой информации, в частности определяется коэффициент уверенности, измеряющий степень доверия к заключению — результату при наличии полученных к этому моменту свидетельств. Он определяется как $KY [H | E] = MD [H | E] - MHD [H | E]$, где $KY [H | E]$ — уверенность в гипотезе H при наличии свидетельства E ; $MD [H | E]$ — мера доверия H при заданном E ; $MHD [H | E]$ — мера недоверия гипотезе H при свидетельстве E . Во время игры, наблюдая в течение нескольких периодов за состоянием рынка, определяют наиболее вероятные его состояния в будущем с помощью цепей Маркова.

Другой подход к вычислению вероятности успеха в торге базируется на индуктивном алгоритме [36]:

а) определяется набор нечетких значений атрибутов, описывающих в виде таблицы данную проблемную ситуацию;

б) для каждой комбинации определяется поведение, реализуемое для набора значений атрибутов — результатов экспертного опроса или имитационного моделирования.

Схема нечеткого рассуждения такова. Сначала фиксируется в качестве базового один из атрибутов. Для каждого его значения выписываются

номера строк таблицы с одинаковыми лингвистическими значениями. Проверяется выполнение равенства правой части $\forall i, j (t_i(X) = t_j(X) \Rightarrow t_i(WR) = t_j(WR))$, $i \neq j$, где t_j — строка таблицы, определяющей способ принятия решений; каждая строка характеризуется набором лингвистических значений атрибутов, описывающих проблемную ситуацию; $t_j(A_i)$ — значение атрибута A_i в строке t_j ; j — номер строки, X — подмножество атрибутов $X \subseteq ATR$, $ATR \in A_1, A_r$; $t_j(X)$ — набор значений атрибутов множества X для t_j ; WR — результат нечеткого рассуждения. Если условие выполняется, то формулируется окончательная гипотеза, в противном случае — неполная.

Для выбора стратегии развития ПМ применяется модель нечеткого динамического программирования. Нечеткое решение определяется как нечеткое множество D , полученное некоторой композицией «*» множества G нечетких критериев и множества C нечетких ограничений, т.е. $D = G * C$, где $G \subseteq A$ и $C \subseteq A$ [38].

Многоэтапный процесс принятия решений в нечеткой среде описан следующим образом. Пусть управляемая система находится в начальном состоянии X_0 и принимает решение (управление) U_0 , на которое накладывается нечеткое ограничение $\mu_{C^0}(U_0)$. Система переходит в состояние X_1 , которое оценивается по нечеткому критерию $\mu_{G^1}(X_1)$. Затем принимается решение U_1 , на которое накладывается нечеткое ограничение $\mu_{C^1}(U_1)$. Система переходит в новое состояние X_2 и т.д. до $(N - 1)$ -го этапа принятия решения. Конечный результат многоэтапного процесса — это некоторая функция, удовлетворяющая очередным нечетким ограничениям и нечетким критериям:

$$\mu_{C^0}(U_0) \cdot \mu_{G^1}(X_1) \cdot \mu_{C^1}(U_1) \cdot \mu_{G^2}(X_2) \cdot \dots \cdot \mu_{C^{N-1}}(U_{N-1}) \cdot \mu_{G^N}(X_N) .$$

Определение текущей политики развития ПМ с помощью ЭС подчиняется правилам вывода вида: «IF количество полученных заказов растет,

THEN покупать ПМ* и т.п., которыми руководствуется ЛПР в зависимости от возможности получения заказов (растет, остается без изменения, уменьшается), благоприятных условий продажи (покупки) ПМ и иных обстоятельств.

Рассматриваются подходы, связанные с покупкой информации во время игры у ее Центра, как упрощенное моделирование затрат предприятия на маркетинг. Одним из подходов к выбору стратегии с учетом платы является парная антагонистическая игра с неполной информацией и следующими правилами: первый ход — игрок I выбирает одну из двух возможных альтернатив: выдвигать (1) предложение на заказ или его не выдвигать (2); вероятности участия конкурентов на отдельные виды работ заданы; второй ход — случайный: моделируется вероятный исход (0 и 1). Игрок II (предприятие, принимающее решение) в зависимости от исхода получает или не получает от Центра информацию о решении игрока I в первом ходе; третий ход — игрок II выбирает одну из трех значений наценки: p_1 — высокая, p_2 — средняя, p_3 — низкая; четвертый ход — случайный: генерируются вероятности выбора значения наценки игроком I; после этих ходов заканчивается первая партия игры. Далее реализуются указанные этапы для n партий игры; определение результата игры — суммарного значения выигрыша для каждого игрока согласно стратегиям, принятым ими на отдельных этапах игры [37].

При многократном повторении партий игры с одними и теми же конкретными стратегиями X и Y игроков суммарный проигрыш игрока II (суммарный выигрыш игрока I) стремится к величине функции средних потерь

$$L_{cp}(x, y) = \sum_{h \in H} L(x, y, h) p(h),$$

где $L(x, y, h)$ — величина выигрыша (проигрыша); $p(h)$ — распределение вероятностей на множестве H случайных стратегий h .

Покупка информации участником игры наталкивается на проблему максимального числа вопросов, ответы на которые уменьшают неопреде-

ленность. Предполагается, что Центр на все вопросы отвечает только «да» или «нет». Проводится поиск оптимального бинарного вопросника в виде совокупности $Q \in T$ вопросов (и последовательности, в которой они задаются) для идентификации событий множества L . При этом поиске применяется метод динамического программирования. С его помощью по данным анкеты строится оптимальный вопросник независимо от оснований, ценности вопросов и распределений вероятности.

Подробно исследована целесообразность использования лицом, принимающим решения, отдельных критериев при принятии им описанных выше решений в условиях риска и неопределенности. Анализ проводится для критериев C_i (Вальда, Гурвица, Севиджа, Лапласа и их разновидностей) в зависимости от «состояния природы» (количества m и n) во время игры. Результаты решений для рассматриваемых в работе условий моделирования, которые зависят от принятых критериев, представляются в виде правил $\langle IF n \square a \text{ и } m \square b, THEN \text{целесообразно применить критерий } C_i \rangle$, где a и b — количество соответственно заказов и предприятий, участвующих в торге. Результаты выражаются также с помощью лингвистических переменных, при которых используемые критерии C_i обеспечивают удовлетворяющие ЛПР результаты; \square — символ, обобщающий знаки $>$, $<$, \geq , \leq .

В работе исследованы типовые функции предпочтения, описывающие поведение во время игры (при выборе решения) восьми типов ЛПР: объективного; азартного; осторожного; склонного преувеличивать полезность при больших значениях выигрыша и неполезность при больших значениях проигрыша; осторожного как к большим выигрышам, так и к большим проигрышам; нормального и других видов.

Результаты этого эксперимента обрабатывались таким образом. Средняя разность между прибылью i -го предприятия X_i и прибылью j -го предприятия X_j , среднееквадратическое значение этой разности и несмещенная оценка дисперсии вычислялись соответственно по формулам:

$$M_{ij} = \left(\sum_{k=1}^{KE} (X_{ik} - X_{jk}) \right) / KE, \quad Q_{ij}^2 = \left(\sum_{k=1}^{KE} (X_{ik} - X_{jk})^2 \right) / KE,$$

$$\sigma_{ij}^2 = KE(Q_{ij}^2 - M_{ij}^2) / (KE - 1).$$

Здесь KE — количество экспериментов. По критерию Стьюдента определялась вероятность того, что величина прибыли находится в окрестности радиуса, который вычислялся так. Откладывались на оси значения средних прибылей

$M_i = \left(\sum_{k=1}^{KE} X_{ik} \right) / KE$ предприятий, $i \in 1, n$; для каждого предприятия

находился радиус окрестности, непересекающейся с другими, т.е. $r_i = \min(r_{iL}, r_{iR})$; $r_{iL} = (M_i - M_{i-1})/2$; $r_{iR} = (M_{i+1} - M_i)/2$, где M_{i-1} , M_{i+1} — прибыли предприятий с $(i-1)$ -м и $(i+1)$ -м рангом по полученной прибыли при моделировании.

При многокритериальной оценке (нечеткий подход Ягера) результаты деятельности предприятий оцениваются следующими показателями: деятельностью, прибыльностью, экономичностью, производительностью. Так, последняя определяется отношением объема продукции O к затратам I в виде предпочтения $O\uparrow/I\downarrow > O\uparrow\uparrow/I\downarrow > O\uparrow\downarrow/I\downarrow > O\uparrow/I\downarrow\downarrow > O\downarrow/I\downarrow$, где символами $\uparrow\uparrow$, \uparrow обозначены соответственно увеличение «большое» и «малое», а $\downarrow\downarrow$, \downarrow — соответственно уменьшение «большое» и «малое», $\uparrow\downarrow$ — без изменений.

Для моделирования производственно-финансовой деятельности предприятий разработана процедура в диалоговом режиме на *IBM 370/148* и *IBM PC AT*. Представлены результаты имитационного моделирования, полученные с использованием СППР [3].

В четвертой главе рассмотрены проблемы принятия решений, сопутствующих выбору технико-экономического предложения в конкурентном торге. Этот выбор формально сведен к многошаговой, многокритериальной задаче. Ее решение состоит из последовательности этапов: принятие решения о развитии (модернизации) предприятия или цеха (ов); анализ воз-

можных (внутренних и внешних) поставщиков объекта торга; подготовка технических заданий на его поставку и их передача вероятным поставщикам; предварительный анализ предложений от поставщиков; технические и экономические переговоры с ними; точный анализ специалистом-аналитиком отобранных к рассмотрению предложений; анализ последних на техническом совете предприятия; окончательный выбор наилучшего предложения; заключение контракта на поставку объекта торга [12, 14, 17, 29].

Частный случай такой задачи рассмотрен на примере выбора гибких производственных модулей и системы CAD/CAM.

С математической точки зрения совершенство объекта торга можно представить вектором $K = (K_1, K_2, \dots, K_r)$, каждая компонента которого соответствует значению некоторого критерия K_j , $j \in 1, r$. Если $[a_j, b_j]$ — конечный интервал значений критерия K_j , которому соответствует однозначно некоторое нормированное значение x_j , принадлежащее интервалу $[0, 1]$, то нормированный вектор уровня совершенства оцениваемого объекта — это вектор $X = (x_1, x_2, \dots, x_r)$, где $x_j = (K_j - a_j)/(b_j - a_j)$ или $x_j = (b_j - K_j)/(b_j - a_j)$ — нормированное значение критерия K_j , принадлежащее интервалу $[0, 1]$. Подготовка технических заданий и анализ предложений, как принято на практике, производится аналитиком по частным критериям.

Для удобства степень принадлежности отдельных частных критериев по отношению к требуемым значениям представляется матрицей $M = \| \mu_{ij} \|$, где μ_{ij} — степень принадлежности i -го частного критерия j -го предложения некоторому удовлетворительному значению. Графически все частные критерии оценки объекта описаны кусочно-линейной функцией $\mu_{ij}(x)$, которая равна единице при полностью выполненном ограничении (критерии) и нулю в противном случае.

Для предварительного анализа технико-экономических предложений разработана небольшая ЭС, имитирующая работу системного аналитика на

этом этапе их оценки. На основе данных, содержащихся в предложениях, она строит выводы об их пригодности для рассматриваемых производственных условий [27].

Управляющая программа ЭС состоит из нескольких частей. Первая часть, которая содержит несколько десятков правил типа $\langle IF \dots THEN \rangle$, проверяет соответствие представленных на конкурс предложений требованиям технических заданий. Анализ начинается с самого дешевого предложения. Рассматриваются собственные (предприятия) технологические возможности его улучшения до требуемых характеристик (ограничений). В случае невыполнения последних рассматривается следующее предложение и т.д. Вторая часть оценивает каждое предложение с помощью «обобщенных» критериев технологического, организационного, конструкционного и экономического вида, используя логические операции пересечения, произведения, выпуклой комбинации и объединения нечетких значений частных критериев. Третья часть осуществляет отбор предложений, исключая из дальнейшего рассмотрения самые непригодные предложения, используя при этом несколько правил вывода типа $\langle IF \dots THEN \rangle$. Четвертая часть управляющей программы составляет небольшой отчет в виде рекомендации.

При поддержке решений на этом этапе используется метод отношения превосходства, пригодный для анализа большого количества вариантов. По этому методу при сравнении альтернативных решений a_i и a_j множество критериев I разбивается на три подмножества: $I^+(a_i, a_j)$ — подмножество критериев, по которым a_i предпочтительнее a_j ; $I^-(a_i, a_j)$ — подмножество критериев, по которым a_j равноценно a_i ; $I^0(a_i, a_j)$ — подмножество критериев, по которым a_j предпочтительнее a_i . Относительная важность (вес) каждого из подмножеств $P^+(a_i, a_j)$, $P^-(a_i, a_j)$, $P^0(a_i, a_j)$ задается тремя числами I^+ , I^- , I^0 . Отношение превосходства R рассматривается в качестве первого приближения решаемой задачи. Дальнейшее

сравнение объектов, содержащихся в ядре, осуществляется другими, более эффективными современными методами.

На заключение торгового контракта большое влияние оказывают технико-экономические переговоры, позволяющие точнее охарактеризовать пригодность предложений. При этом целесообразно рассмотреть поведение двух сторон (и заказчика, и поставщика), на котором сказывается их техническое и финансовое положение.

В работе исследуются несколько типов поведения поставщиков, при классификации которых используются весовые факторы. Чтобы определить вероятность успеха и тем самым возможность получения контракта, вычисляются вероятности принадлежности поставщиков к каждому из поведенческих типов, подсчитываемые как отношение общего весового фактора для поведенческого типа к сумме всех общих весовых факторов по всем поведенческим типам. Величины этих вероятностей используются также при определении шанса предприятия, представляющего свое предложение на конкурс. Итогом работы этой ЭС являются оценки соответствия психологических типов поведения поставщика и заказчика. Эти результаты после тщательного анализа учитываются на последующих этапах.

Для селекции предложений на следующем (более формализованном) этапе используется модель, описанная в терминах теории полезности в условиях определенности. Поскольку эксперт способен упорядочить множество допустимых решений a_i , $i \in 1, q$, учитывая каждый критерий в отдельности при определенном уровне реализации остальных критериев f_k , $k \in 1, k$, допустимо воспользоваться линейной аддитивной функцией полезности $u[(u_1(y_1), \dots, u_q(y_q))] = w_1 u_1(y_1) + w_2 u_2(y_2) + \dots + w_q u_q(y_q)$, где $u_k(y_k)$ — однофакторная (частная) функция полезности; y_k — оценка объекта по критерию f_k ; w_k — весовой коэффициент.

Эта модель — один из способов сведения многокритериальных задач к однокритериальным, где для принятия решения применяется принцип максимальной полезности. Процесс построения аддитивной функции по-

лезности делится в этом случае на два этапа: оценивание однофакторных функций полезности и определение весовых коэффициентов.

* Избранные аналитиком и строго упорядоченные предложения окончательно рассматриваются на техническом совете предприятия.

Для группового выбора применяются алгоритмы, учитывающие многие обстоятельства принятия этого вида решений: ранжирование (строгое и нестрогое) альтернатив; разная степень компетентности экспертов; ранжировка с учетом нескольких различных признаков, по которым оцениваются объекты; согласование мнений экспертов; проверка непротиворечивости полученных экспертных ранжировок; подбор экспертов (т.е. количество, психологические свойства и т.п.); взаимодействие экспертов. Эти обстоятельства порождают целый ряд задач, которые решаются с помощью статистических, алгебраических моделей и методов шкалирования. В работе сравниваются между собой различные методы группового принятия решений.

Описанные модели принятия решений были использованы при выборе предприятием поставщика объекта торга. В другой ситуации, когда оно выступает в роли поставщика, не выбирает, но само формирует для конкурса свое предложение, критерии его оценки знает лишь приблизительно. Располагая доступной информацией, оно определяет приблизительное распределение вероятностей успеха конкурентов и тем самым свое место среди предприятий-участников конкурса. Перед тем как потенциальный поставщик примет решение о целесообразности выхода с собственным продуктом на рынок или его определенный сегмент, он должен определить свои шансы в торге. Эта проблема сводится к такой модели [34].

Пусть существует рынок (сегменты рынка), которым в нашем случае является предприятие, организующее торг на определенные группы собственных продуктов x_i , например системы CAD/CAM.

Предположим, что в торге принимает участие $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_m\}$ конкурирующих фирм, которые различаются качеством своих продуктов; $Y =$

$= \{y_1, y_2, \dots, y_p\}$ — множество критериев оценки фирм; $F_R: X \times Y \rightarrow [0,1]$ — функция принадлежности нечеткого бинарного отношения R . Для всех $x \in X$ и всех $y \in Y$ функция $F_R(x,y)$ — степень критерия важности оценки фирмы, определяемого покупателем. Отношение $R = (x_i, y_j)$ является матрицей с размерностью $n \times p$, а $\Pi_S: Y \times Z \rightarrow [0,1]$ — функцией принадлежности нечеткого бинарного отношения S . Для всех $x \in X$ и всех $y \in Y$ степень принадлежности фирмы с характеристикой y равняется $\Pi_S(y,z)$, матрица отношений $S = (z_i, y_j)$ имеет размерность $m \times p$. Составляется матрица T , у которой элементы суть функции принадлежности

$$\mu_{A_i}(x, z_i) = \sum_y F_R(x, y) \cdot \Pi_S(y, z_i) / \sum_y F_R(x, y)$$

для $x \in X$, $y \in Y$ и $z \in Z$. Чтобы определить порог сегментации (разделения) рынка, конструируется матрица W , в которой отдельные пары значений $\mu_{A_i}(x, z_i)$ сравниваются с помощью конъюнкции. В модели порог сегментации l ограничивается условием

$$l < \min_{ij} \max_x \min \left[\mu_{A_i}(x, z_i), \mu_{A_j}(x, z_j) \right].$$

Установив целесообразность своего участия в торге, после получения более полной информации (от проведения торговых переговоров и тестов) поставщик определяет распределение вероятностей успеха конкурентов и тем самым свое место среди предприятий, участвующих в торге. Для точного упорядочения альтернатив применяется модель стохастического доминирования, с помощью которой проводится попарное сравнение тех альтернативных предложений конкурентов, которые с большей вероятностью будут представлены на конкурс. ЛПП упорядочивает исходы (из множества S произвольного набора исходов) по их предпочтительности в порядке возрастания $s_1 < s_2 < \dots < s_j < \dots < s_N$. Здесь бинарное отношение $s_j < s_{j+1}$ означает, что исход s_{j+1} строго предпочтительнее чем s_j и функция полезности (в данном случае не определена) сохраняет порядок предпочте-

ний на множестве S ; для каждой альтернативы $a_j \in A$ задается распределение вероятностей $f(s_j) = P(s_j | a_j)$, где $\sum_{j=1}^k f(s_j) = 1, \forall a_j \in A$. Вводится функция распределения по предпочтению $F_{\Pi}(s_k) = \sum_{j=1}^k f(s_j)$, $k \in 1, N$, причем $F_{\Pi}(s_1) = f(s_1)$, $F_{\Pi}(s_N) = 1$. Аналогично определяется $a_g \in A$; $g(s_j)$ и G_{Π} . По теореме о строгом стохастическом доминировании первого порядка $_1 <$ для произвольного множества S , $a_f < a_g \Leftrightarrow G_{\Pi}(s_j) \geq F_{\Pi}(s_j), j \in 1, |S|$, причем для $f \neq g$ должен существовать хотя бы один исход $s_j \in S$, где $G_{\Pi}(s_j) > F_{\Pi}(s_j)$. Если для s_j и s_{j+1} , $F_{\Pi}(s_j) > G_{\Pi}(s_j)$ и $F_{\Pi}(s_{j+k}) < G_{\Pi}(s_{j+1})$ и не существует ни $a_f < a_g$, ни $a_g < a_f$, то система обращается к ЛПР за дополнительной информацией о полезности исходов, чтобы определить место каждой разности $u(s_{j+1}) - u(s_j)$ в ранжированном списке, в котором за начало принимается максимальная разность. Затем используется теорема о строгом стохастическом доминировании $_2 <$ второго порядка (аналогичная теореме первого порядка) и определяется лучшая альтернатива. Таким образом можно ранжировать альтернативы и извлечь исходную информацию для проведения следующего этапа выбора, т.е. получить множество предъявлений, в которых участник конкурса входит в число победителей. Результаты отдельных сравнений альтернатив в зависимости от этапа их выявления (с применением теорем стохастического доминирования) описываются множеством термов лингвистической переменной «предпочтение альтернатив» вида <«значительное», «незначительное», «сравнимое»> [28].

Функция выбора, с помощью которой описывается множество предъявлений, в которых i -й участник входит в число победителей, имеет следующий вид: $C^i(\bar{Z}) = z_i \bigwedge_{j=1}^n (\bar{z}_j \vee \lambda_{ij}^0(\bar{Z}^j))$, где z_i — булева переменная, соответствующая i -му участнику; $\lambda_{ij}^0(\bar{Z}^j)$ — булева пороговая функция для $i, j \in$

$\in \Omega$, $\Omega \in 1, n$, равная $\lambda_{ij}(\tilde{Z}) = 1 \Leftrightarrow I_i(\tilde{Z}) - I_j(\tilde{Z}) \geq 0$, задаваемая линейной формой $I_{ij}(\tilde{Z}) = I_i(\tilde{Z}) - I_j(\tilde{Z})$, причем $I_i(\tilde{Z}) = \sum_{r \in R(i)} s_r - \sum_{r \in R^{-1}(i)} s_r$; Ω — множество

вершин ориентированного графа, соответствующих участникам конкурса. Дуга (i, j) проводится в случае предпочтения i -го участника j -му по результатам оценки альтернатив. Победитель — тот участник, для которого разность $|R(i)| - |R^{-1}(i)|$ максимальна; R — бинарное отношение; $\lambda_{ij}(\tilde{Z})$ — булева функция, полученная из $\lambda_{ij}^0(\tilde{Z}^j)$ подстановкой $z_i = z_j = 1$. На этом этапе выбора (при наличии неопределенности) с помощью турнирного механизма целесообразно определить победителя в зависимости от количества участников торга и характера критерия оценки альтернатив. В работе проводится этот анализ с точки зрения правил «сумма очков» и «гарантированного результата».

Разработана последовательность анализа при определении количества рабочих станций компьютерных систем CAD/CAM и предложена схема выбора наилучшей альтернативы, которая учитывает затраты на покупку, установку и эксплуатацию одной рабочей компьютерной станции при помощи алгоритма упорядочения вероятностных альтернатив на основе детерминированного эквивалента [34].

В пятой главе рассмотрены основные этапы исследования и проектирования структур производственных систем (СПС): определение динамических характеристик; выбор оптимального вектора вероятностей переходов (прогноз состояний СПС); группирование изделий в подмножества по определенным характеристикам; выделение СПС на основе декомпозиции; оптимизация связей элементов выделенной СПС по отдельным и нескольким критериям [25, 26, 39, 40].

При исследовании динамических характеристик СПС используются исходные данные, приведенные в сценариях развития производства

(изменения в объеме, ассортименте и технологии) и технико-экономическая информация, полученная в ходе моделирования развития предприятия.

Исследование стабильности СПС осуществляется по алгоритму: рассмотрение специфики конкретного производства (количество рабочих мест, допустимая производственная площадь и др.); ввод и корректировка данных; построение модели СПС с применением методов оптимизации (алгоритм Нельдера—Мида); вариация в определенных пределах ее различных параметров; выбор варианта СПС, наименее чувствительного к варьируемым входным параметрам. Этот алгоритм позволяет находить быстрее и лучше варианты СПС, близкие к оптимальным, чем методы имитационного моделирования [35].

Проводится выбор оптимальной матрицы вероятностей переходов и ожидаемых эффектов при переходе СПС из состояния i в j . В данном случае под состоянием понимается форма организации производства. Исследование проводится с применением марковских процессов принятия решений и подхода Ховарда. При построении матрицы вероятностей переходов СПС количество последних определяется по изменениям значений $K_{3,0}$, вероятность состояния СПС вычисляется с помощью кусочно-линейной информации для трех состояний (технологическое, предметное, технологически-предметное). Графически вероятности интерпретируются с помощью барицентрического треугольника высотой 1.

Тип производства характеризуется коэффициентом закрепления операций $K_{3,0}$. Последний используется для описания основных свойств и тенденций изменения компонентов производственной системы при переходе от одного типа производства к другому (из одного состояния организации производства в другое). Его величина лежит в пределах, а именно: для массового производства $1 < K_{3,0} \leq 3$, для крупносерийного — $3 < K_{3,0} \leq 10$, для среднесерийного $10 < K_{3,0} \leq 30$, для мелкосерийного $30 < K_{3,0} \leq 40$, для единичного $K_{3,0} > 40$. При исследовании СПС коэффициент $K_{3,0}$ необходим также для вычисления ожидаемых эффектов при переходе ее из од-

ного состояния в другое. $K_{3.0}$ вводится с помощью логической формулы, связывающей тип технологического процесса T_i , форму организации производственного процесса O_i и вид технической базы производственной системы W_i :

$$\begin{aligned}
 &< \text{IF } K_{3.0} = 1 + 3 \text{ THEN } (T_{1i} \vee T_{g0}) \wedge O_{p1} \wedge (W_{3.0} \vee W_{r0}) > \\
 &< \text{IF } K_{3.0} = 3 + 10 \text{ THEN } (T_{1i} \vee T_{j1} \vee T_{g0} \vee T_{gp}) \wedge (O_{p1} \vee O_{pg}) \wedge \\
 &\quad \wedge (W_{3.0} \vee W_{k0} \vee W_{r0}) > \\
 &< \text{IF } K_{3.0} = 10 + 30 \text{ THEN } (T_{1i} \vee T_{j1} \vee T_{g0} \vee T_{gp}) \wedge \\
 &\quad \wedge (O_{p1} \vee O_{pg} \vee O_{lg}) \wedge (W_{3.0} \vee W_{k0} \vee W_{r0} \vee W_{u0}) > \\
 &< \text{IF } K_{3.0} = 30 + 40 \text{ THEN } (T_{1i} \vee T_{j1} \vee T_{g0} \vee T_{gp}) \wedge (O_{pg} \vee O_{lg}) \wedge \\
 &\quad \wedge (W_{k0} \vee W_{r0} \vee W_{u0}) > \\
 &< \text{IF } K_{3.0} > 40 \text{ THEN } (T_{j1} \vee T_{g0}) \wedge O_{lg} \wedge (W_{k0} \vee W_{u0}) >,
 \end{aligned}$$

где T_{1i} — типовая технология; T_{j1} — единичная технология; T_{g0} — групповая обработка; T_{gp} — групповые процессы; O_{p1} — поточные линии; O_{pg} — предметно-замкнутые участки; O_{lg} — технологические участки; $W_{3.0}$ — специализированное оборудование; W_{k0} — комплексы станков с ЧПУ; W_{r0} — роботизированные технологические комплексы; W_{u0} — универсальное оборудование.

При разработке методов и алгоритмов оперативно-календарного управления используется следующая модель.

Пусть $Z = \{z_i\}$ — количество заказов, где $i \in I$, $i \in 1, n$. Каждый заказ z_i есть пара $\left(\Pi_i, \{O_{ij}\}_{j=\xi_i}^{H_i} \right)$, $j \in J$, где J — допустимое множество номеров операций; Π_i — размер партии деталей наименования d_i . Операция O_{ij} — пара $(\Gamma_{ij}, t_{ij}(N))$ и относится к каждой детали i -й партии; ξ_i — номер операции из технологического маршрута, с которой следует начать обработку i -й партии; H_i — номер последней операции над данной партией; Γ_{ij} —

группа взаимозаменяемого оборудования, предписываемого для операции O_{ij} ; $\bar{\Gamma}_i$ — i -й маршрут как последовательность сменяемых групп оборудования; $\bar{\Gamma}$ — множество всех групп, встречающихся в матрице $\|O_{ij}\|$; $t_{ij}(N)$ — элементарная длительность в минутах, т.е. трудоемкость операции O_{ij} с одной деталью d_i , которая может зависеть от номера станка N в группе (на особо указанных операциях); t'_{ij} — длительность переналадки перед операцией O_{ij} ; $S = \{s_k\}$, ($k \in 1, K$) — множество исполнителей (гибких модулей, станков или рабочих мест); $M = \max H_i$ — количество «обобщенных операций». Таким образом, маршруты можно изобразить матрицей $M \times n$.

Требуется построить квазиоптимальный попартионный план-график G^* в виде матрицы $\{t_{ij}^n, s_{ij}, t_{ij}^k\}$, ($i \in 1, n; j \in 1, M$), где t_{ij}^n и t_{ij}^k — соответственно время начала и конца операции O_{ij} ; $s_{ij} \in \Gamma_{ij}$ — номер конкретного станка, назначенного на операцию O_{ij} , заданную вектором перестановок $(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_k)$, где $\sigma_l = (d_{i_1}, d_{i_2}, \dots, d_{i_n})$, каждая из которых указывает порядок запуска партий на обобщенных операциях.

Численный критерий оценки плана G — некоторая функция $F(G)$. Квазиоптимальным является план G^* , обладающий свойством $F(G^*) \leq F(G)$ для всех или почти всех $G \in \Psi$, где Ψ — множество допустимых действительных планов. В качестве критерия в работе используется критерий Джонсона, а ограничений — требования к организации и управлению гибким производством.

Некоторые методы, алгоритмы и характеристики задач, для которых разрабатывались календарные планы, представлены в [1].

В работе описан один из подходов к построению функции принадлежности вида «упорядочение объектов от заданной последовательности к обратной». Рассуждения приведены для детерминированного и вероятност-

ного упорядочения перестановок объектов, используемых при конструировании и поиске оптимальных схем эвристических правил предпочтения в ходе построения календарных планов и проектирования СПС. Предложен рандомизатор, использующий статистические испытания и генерирующий перестановки, сколь угодно близкие как к заданной последовательности, так и обратной ей. Описаны способы управления рандомизатором с помощью функций $Q(j)$, выражающих зависимость параметра Q от j -й технологической операции, и алгоритмы варьирования такими функциями [11].

При конструировании функции принадлежности этого вида было принято, чем меньше значение параметра Q , тем больше вероятность того, что будет выбрана $\sigma_j^R = J^T$; при $Q = 1$ перестановка с равной вероятностью может получиться любой: чем больше Q , тем больше вероятность получить $\sigma_j^R = J^{-T}$. При этом σ_j^R — случайная перестановка — определяется методом статистических испытаний, Q — параметр рандомизатора (например, знаменатель геометрической прогрессии), J^T и J^{-T} — соответственно тождественная и обратная перестановка. Определены формулы для нахождения предельных значений функции $Q(j)$, при которых с вероятностью $p = 0,95$ будет выбрана тождественная или обратная перестановка. Значения Q_{\min} и Q_{\max} определены для различных n из уравнения $(1 - Q_{\min})^n / \prod_{i=1}^n (1 - Q_{\min}^i) = p$ и $(1 - Q_{\max}^{-1})^n / \prod_{i=1}^n (1 - Q_{\max}^{-i}) = p$, где n — количество объектов упорядочивания.

Таким образом, в задаче упорядочения заказов определены следующие правила выбора схемы правил предпочтения:

IF $Q(1) \in N \wedge Q(j_{sr}) \in N \wedge Q(M) \in N$, *THEN* правило *FIFO*;

IF $Q(1) \in S \wedge Q(j_{sr}) \in S \wedge Q(M) \in S$, *THEN* правило Монте-Карло;

IF $Q(1) \in NW \wedge Q(j_{sr}) \in NW \wedge Q(M) \in NW$, *THEN* правило *LIFO* и т.д.,

где 1, j_{sr} и M — первая, средняя и последняя операция производственного процесса соответственно; N , S , NW — диапазоны изменения $\{Q_{\min}(j)\}$.

$Q_{\max}(j)$ на опорных операциях J, J_{sr}, M ; *FIFO, LIFO* — правила предпочтения (упорядочения).

Рассмотрены значения истинности утверждений, описывающих предметную область, определяемую как нечеткое множество $T \subset [0,1]$ с функцией принадлежности $\mu_t : [0,1] \rightarrow [0,1]$. Использованы значения лингвистической переменной «истинность» (подход Балдуина), для которой множество термов является перечислимым: { «верное», «неверное», «очень верное» и т.д. }. Каждый терм отождествляется с некоторым множеством во множестве значений истинности в интервале $[0,1]$.

В задаче упорядочения объектов множество термов лингвистической переменной «упорядочение объектов» представлено в виде $T_y = \langle$ «согласно заданной перестановке», ..., «случайная перестановка», «согласно обратной перестановке к заданной» \rangle .

Если при выборе схемы конструирования правил предпочтения значения $q(j) = \ln Q(j)$ будут находиться в пределах:

- | | |
|--|--|
| 1) $q_{\min}, \forall j \in [1, M];$ | 2) от q_{\min} к $q_{sr}, \forall j \in [1, M/2];$ |
| 3) $q_{sr}, \forall j \in [1, M/2];$ | 4) от q_{\max} к $q_{sr}, \forall j \in [1, M/2];$ |
| 5) от q_{sr} к $q_{\min}, \forall j \in [M/2, M];$ | 6) $q_{sr}, \forall j \in [M/2, M];$ |
| 7) от q_{sr} к $q_{\max}, \forall j \in [M/2, M];$ | 8) $q_{\max}, \forall j \in [1, M];$ |

то для вариантов упорядочения объектов (заказов) нечеткие значения истинности для предложения «схема конструирования правил предпочтения, лучшая для обработки заказов с минимальным суммарным временем» принимают значения из набора: достаточно верно; мало верно; неверно; очень неверно и т.п.

С использованием подхода к построению функции принадлежности «упорядочение объектов», схемы конструирования правил предпочтения, а также способа определения нечетких значений истинности для утверждений рассматриваемой проблемной ситуации в работе предложен алгоритм распознавания проблемы упорядочения задач. Он реализует преобразова-

ние $A : D \rightarrow I$ так, чтобы некоторая мера $Q(A, \bar{A})$, представляющая оценку качества распознающего алгоритма A , была бы минимальной. Преобразование A реализуется как сложение трех преобразований F, C, B , т.е. $A = F \cdot C \cdot B$, причем $B : D \rightarrow X$ является рецепцией, второе ($C : X \rightarrow R^L$) связано с определением значения функции принадлежности, а преобразование $F : R^L \rightarrow I$ осуществляется в процессе принятия решений. На этапе рецепции измеряются характеристики всех объектов, что ведет к отображению объектов $d \in D$ — некоторое пространство характеристик, элементами которого являются n -элементные векторы $\bar{x} = \langle x_1, x_2, \dots, x_n \rangle \in X$, в данном случае представляющие упорядочения с помощью троек q_1, q_m, q_M . По этому вектору характеристик \bar{x} определяются функции принадлежности $C^i(\bar{x})$, $i \in 1, L$, (L — количество классов), значения которых задают меру принадлежности неизвестного объекта d к определенным классам D^i . При этом все конкретные объекты d_k , принадлежащие к некоторому классу i_k , представляются максимальным значением функции принадлежности $C^{i^k}(\bar{x}^k)$, которая должна быть больше всех остальных значений $C^{i^k}(\bar{x}^k)$ для $i \neq i^k$. С помощью преобразования $F : R^L \rightarrow I$ находится конечное решение.

Некоторые задачи распознавания рассматриваются в работе на основе представления знаний эксперта непосредственно в виде формулируемой зависимости x и i , где x — вектор свойств, i — номер класса.

Основной вариант задачи распознавания так формулирует отношение $R(x, i)$. Пусть дано разбиение на непересекающемся множестве $\Delta X_1, \Delta X_2, \dots, \Delta X_L$, такое, что $\Delta X_1 \cup \Delta X_2 \cup \dots \cup \Delta X_L = X$, и каждому множеству ΔX_i , $i \in 1, L$, соответствует упорядоченное множество возможных классов $D_{ii} \in \{1, 2, \dots, M\}$. Если заданное множество $D_i \in \{1, 2, \dots, M\}$ является следующим:

$$D_i = \{i : \bigvee_{x \in D_i} [(x, i) \in R(x, i)]\} = \bigcup_{x \in D_i} R(x, i),$$

то определение D_i сводится к тому, что для данного D_x принимаются во внимание все ΔX_i , имеющие с ним общие точки, и D_i есть сумма множеств D_{ij} , соответствующих множествам ΔX_j .

В исследуемом случае, если $(x, i) \in R^2$ и для отдельных $x = \{q(j), q(j_w), q(M)\}$, в зависимости от значения $F(G)$, где G — упорядочение, определенное через x , имеем: $i = NSzN \vee i = NWsN$ для $F(x) < E1$; $i = NSzNW \vee i = NWsNW \vee i = SWsS \vee i = SzSSz \vee i = SWsN$ для $E1 \leq F(x) \leq E2$; $i = SSzN \vee i = SSzNW \vee i = SWsNW \vee i = NNN$ для $E2 \leq F(x) \leq E3$; $i = NWkN \vee i = SWkN \vee i = NWSzN \vee i = NWWsN \vee i = NWSzNW \vee i = NWWsNW$ для $E3 \leq F(x) \leq E4$; $i = NWNWNW$ для $F(x) > E5$, где E_i — значение отдельных областей критерия оптимизации; N, Sz, Ws, S, NW, Wk — области нечетких значений управляющих параметров.

Особое внимание уделено многокритериальной оптимизации связей между элементами СПС по следующим критериям: минимальное время обработки деталей, максимальная загрузка рабочих мест и минимальное время пролеживания деталей. При моделировании оптимальных связей используется функция принадлежности «упорядочение объектов от заданной последовательности к обратной». Это позволяет графически представить зависимость времени обработки заказов от их приоритета. Имитационные эксперименты показали, что при заданной СПС время обработки производственных заказов может изменяться от единиц до нескольких десятков процентов и оно определяет основу для вычисления предела стабильности СПС.

С помощью многофакторного анализа проведено исследование классов областей решений, для которых в статистическом смысле наиболее эффективны определенные типы функций предпочтений. Подробно исследованы

однофакторные эксперименты по анализу зависимостей «параметр-критерий» для рассмотренных критериев и параметров.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

В процессе исследования и разработки компьютерных СППР для управления предприятием получены следующие основные результаты.

1. Разработаны эффективные модели и методы принятия решений, базирующиеся на имитационном моделировании, методах исследования операций, и прежде всего на теории нечетких множеств, широко используемых в интеллектуальных СППР и системном анализе.

2. На основе системного подхода с применением методов построения сценариев и анализа иерархий разработана процедура моделирования и выбора стратегии развития предприятия в рыночных условиях. Разработано программное обеспечение для проведения имитационных экспериментов, с помощью которых ведется поиск наиболее рационального варианта намерений по развитию предприятия. Подготовлены методические материалы для ряда предприятий электромашиностроительной промышленности в Республике Польша.

3. Разработаны модель хозяйственных организаций и программное обеспечение в виде динамической модели, имитирующей кооперативные производственные связи предприятий. Деловая игра разработана для обучения в ИГАиУНХ (г. Варшава) и других центрах повышения квалификации руководящих кадров РП принятию решений в условиях рыночной экономики.

4. Исходя из требований, предъявляемых к разработке деловой игры «Грабул», моделирующей производственно-финансовую деятельность предприятий, получающих заказы в ходе конкурентного торга, на базе современного математического аппарата разработана СППР с программным обеспечением для проведения игры в диалоговом режиме. Особое внима-

ние уделено представлению и приобретению знаний на основе нечетких моделей. Применение игры как п. 3.

5. Разработана СППР для выбора технико-экономического предложения в условиях конкурсного механизма на примере гибкого производственного модуля и системы *CAD/CAM*. Многошаговая, многокритериальная процедура, которая используется как организаторами торга, так и его участниками, принимающими решения в условиях неполной и неопределенной информации, ускоряет и оптимизирует процесс выбора объектов торга.

6. Предложена модифицированная схема исследования и проектирования СПС. Разработаны модели для исследования стабильности СПС и выбора оптимального вектора вероятностей соответствующих организационно-технологических форм СПС.

7. Построена функция принадлежности вида «упорядочение объектов от заданной последовательности к обратной» для решения задач исследования СПС. Разработан и исследован аппарат определения нечетких значений истинности для схем рандомизации правил предпочтения, используемых при разработке календарных планов. Проблема упорядочения задач сформулирована с позиций теории распознавания образов. Нечеткость результата классификации объекта устраняется путем приписывания его к тому классу объектов, которому соответствует самое большое значение функции принадлежности.

8. Разработаны алгоритмы, модели и их программное обеспечение, позволяющие оптимизировать связи между элементами производственной системы, учитывающие многие особенности гибкого производства. Исследованы многопараметрическая классификация эффективности функций предпочтений и их многокритериальные оценки.

9. Представленные компьютерные СППР нашли применение в производственной практике предприятий и были использованы в центрах по-

вышения квалификации руководящих кадров хозяйственных организаций и процессе обучения студентов соответствующих специальностей.

СПИСОК ОСНОВНОЙ ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Витковски Т.* Методы и алгоритмы оптимизации календарных планов для цехов мелкосерийного производства. — Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Киев, 1983. — 24 с.
2. *Витковски Т., Домбек К.* Процедура моделирования развития предприятия // Материалы междунар. конф. «Комплексное развитие машиностроительного предприятия» (19–23 нояб. 1984 г.). — Варшава, 1984. — С. 17.
3. *Witkowski T., Janczyk J.* Oprogramowanie gry kierowniczej «Grabud». — Warszawa: Instytut Administracji i Zarządzania, 1985. — 46 s.
4. *Витковски Т.* Использование показателей и оценка эффективности новых технологий и новой продукции // Материалы междунар. конф. «Имитационное моделирование и хозяйственный механизм» (5–10 нояб. 1987 г.). — Варшава, 1987. — С. 15.
5. *Witkowski T., Opilowska N.* Oprogramowanie gry kierowniczej «Kooperacja». — Warszawa: Instytut Administracji i Zarządzania, 1988. — 93 s.
6. *Витковски Т.* Моделирование производственно-финансовой деятельности предприятия, получающего заказы в условиях конкурсного механизма // Респ. науч.-практ. конф. «Моделирование плановых расчетов и диалоговая оптимизация» (Севастополь, 3–7 сент. 1990 г.): Тез. докл. — Киев: О-во «Знание», 1990. — С. 31.
7. *Витковски Т., Тимашова Л.А., Браженене Л.М.* Процесс принятия решений в условиях управленческой игры, имитирующей деятельность конкурирующих предприятий // Интеллектуальные АРМ в системах управления производством. — Киев: Ин-т кибернетики им. В.М. Глушкова АН УССР, 1991. — С. 23 – 30.
8. *Витковски Т., Шейко О.Ю.* Применение классификации задач принятия решений для оценки математического и программного обеспече-

ния в системах интеллектуального управления производством // Там же. — С. 30–35.

9. *Витковски Т.* К проблеме классификации задач оперативно-календарного планирования и их программного обеспечения // Программное обеспечение технических систем. — Киев: Ин-т кибернетики им. В.М. Глушкова АН УССР, 1991. — С. 71 – 76.
10. *Витковски Т.* Моделирование развития машиностроительного предприятия в условиях рыночного механизма // Процессоры и системы обработки сигналов. — Киев: Ин-т кибернетики им. В.М. Глушкова АН УССР, 1991. — С. 63–68.
11. *Витковски Т.* Построение функции принадлежности вида «упорядочение объектов» для решения одной задачи управления производством // Системообразующая среда и прикладные аспекты современных ИАСУ. — Киев: Ин-т кибернетики им. В.М. Глушкова АН УССР, 1991. — С. 61–66.
12. *Witkowski T., Sliwinski S.* Zastosowanie polioptymalizacji do oceny konstrukcji na przykladzie siewnikow punktowych // V Sympozjum «Problemy budowy oraz eksploatacji maszyn i urzadzen rolniczych», (Plock, 23–24 wrzesnia 1991 r.). Politechnika Warszawska, IMiUR, Plock, 1991.— S. 73–75.
13. *Witkowski T, Sadowski J.* Robotyzacja stanowisk technologicznych na wydziale mechanicznym FMR «Kraj» // (V Sympozjum «Problemy budowy oraz eksploatacji maszyn i urzadzen rolniczych», Plock, 23–24 wrzesnia 1991 r.). Politechnika Warszawska, IMiUR, Plock, 1991. — S. 416–419.
14. *Witkowski T.* Wielokryterialna, wieloetapowa procedura optymalnego wyboru wyposazenia technologicznego w przetargu // Modele i decyzje. Ekonomia, ochrona srodowiska, medycyna, technika, systemy walki (Materialy II Krajowej Konferencji Badan Operacyjnych i Systemowych. Instytut Badan Systemowych PAN-PTBOiS-WAT). Warszawa, 1991. — S. 103–110.
15. *Witkowski T.* Rozmyte wartosci prawdy w problemie szeregowania zadan // Optymalizacja. Zadania, metody, algorytmy. (Materialy II Krajowej Konfer-

- encji Badan Operacyjnych i Systemowych. Instytut Badan Systemowych PAN-PTB O i S-WAT). Warszawa, 1991. — S. 89–96.
16. *Чабыкина С.И., Витковски Т.* Методы создания систем управления в условиях информатизации принятия решений // Информатизация производственных систем в современных экономических условиях. — Киев, Ин-т кибернетики им. В.М. Глушкова АН Украины, 1992. — С. 61–66.
 17. *Витковски Т.* Процедура принятия решений при выборе технико-экономического предложения в конкурентном торге // Механизация и автоматизация упр. — 1992. — № 2. — С. 20–23.
 18. *Витковски Т.* Применение принципов нечеткой логики при поддержке принятия решений в задаче конкурентного торга // Кибернетика и вычисл. техника. — 1992. — Вып. 95. — С. 90–96.
 19. *Witkowski T.* The characteristic function and expert system constructions determining probable success in the competition tenders // Preprints of the IFAC/IFORS/IIASA/TIMS Workshop on «Support Systems for Decision and Negotiation Process». — Warsaw, June 24–26. Systems Research Institute Polish Acad. of Scien. — Warsaw, 1992. — P. 621–626.
 20. *Witkowski T.* Fuzzy Logic in Decision Making During Simulation of Enterprises Activities under Circumstances of Tenders // Abstracts of the IFORS 2nd Specialized Conference on «Transition to Advanced Market Economies», Warsaw, June 22–25, 1992. System Research Institute Polish Acad. of Scien. — Warsaw, 1992. — P. 93.
 21. *Witkowski T.* Zastosowanie systemu eksperckiego w okreslaniu prawdopodobienstwa sukcesu w przetargu // Przegląd Organizacji. — 1992. — № 12. — S. 29–31.
 22. *Витковски Т.* Методология использования нечетких высказываний для принятия решений в управлении производством // Кибернетика и вычисл. техника. — 1993. — Вып. 99. — С. 93–102.
 23. *Витковски Т., Тимашова Л.А.* Модели финансово-экономических решений предприятий в условиях риска // Финансово-экономические

системы поддержки решений в комплексном управлении производством. — Киев: Ин-т кибернетики им. В.М. Глушкова АН Украины. — 1993. — С. 10–16.

24. *T. Witkowskiego*. Применение принципов нечеткой логики при поддержке принятия решений в условиях конкурентного торга // Информатизация та нові технології. — 1993. — № 2. — С. 14–16.
25. *Witkowski T.* Metoda optymalizacji harmonogramow pracy maszyn // Mechanik. — 1993. — № 8/9. — S. 305–308.
26. *Witkowski T.* Algorytm rozpoznawania problemu szeregowania zadan // Informatyka. — 1993. — № 6. — S. 20–26.
27. *Witkowski T.* Komputerowe wspomaganie decyzji o zakupie produktu // Informatyka. — 1993. — № 8. — S. 9–15 i 25.
28. *Witkowski T.* Wspomaganie decyzji o wyborze zintegrowanego systemu CAD/CAM // Informatyka. — 1993. — № 9. — S. 16–23.
29. *Witkowski T.* System wspomagania decyzji o zakupie wyrobu // Przegląd Mechaniczny. — 1993. — № 14. — S. 3–5.
30. *Witkowski T.* Wspomaganie procesu decyzyjnego sprzedazy wyrobu // Przegląd Mechaniczny. — 1993. — № 15/16. — S. 3–5.
31. *Witkowski T.* Metoda analizy hierarchicznej w projektowaniu i zarzadzaniu systemem produkcyjnym // Przegląd Mechaniczny. — 1993. — № 20. — S. 7–12.
32. *Witkowski T.* Racjonalny wybor programu produkcyjnego przedsiebiorstwa // Przegląd Organizacji. — 1993. — № 12. — S. 24–26.
33. *Witkowski T.* Systemowe podejście do zarzadzania strategicznego przedsiebiorstwem // Modelowanie i komputerowe wspomaganie decyzji gospodarczych. (Materiały III Konferencji Badan Operacyjnych i Systemowych). Warszawa, 21–23 wrzesnia 1993, Instytut Badan Systemowych PAN. Warszawa, 1994. — S. 111–120.
34. *Witkowski T.* Modele optymalizacji wyboru systemu informatycznego // Modelowanie i komputerowe wspomaganie decyzji gospodarczych. (Materiały III

- Konferencji Badan Operacyjnych i Systemowych) .Warszawa, 21–23 wrzesnia 1993, Instytut Badan Systemowych PAN. Warszawa, 1994. — S. 179–188.
35. *Witkowski T.* Konstrukcja modelu rozmytego do optymalizacji struktur systemu produkcyjnego i oceny ich stabilnosci. Ogolnopolska konferencja «Analiza decyzji; Systemy eksperckie; Zastosowanie systemow komputerowych» (25–27 maja, 1994 r), Tezy, Warszawa, 1994. — S. 153–154.
 36. *Witkowski T.* Pozyskiwanie wiedzy i konstrukcja regul wnioskowania dla okreslenia prawdopodobienstwa sukcesu firmy w przetargu. Ogolnopolska konferencja «Analiza decyzji; Systemy eksperckie; Zastosowanie systemow komputerowych». (25–27 maja, 1994), Tezy, Warszawa, 1994. — S. 101–102.
 37. *Witkowski T.* Metody zbiorow rozmytych w analizie decyzyjnej przedsiebiorstwa. Czesc I. // Informatyka. — 1994. — № 8. — S. 26–30.
 38. *Witkowski T.* Modele zbiorow rozmytych w analizie decyzyjnej przedsiebiorstwa. Czesc II. // Informatyka. — 1994. — № 9. — S. 20–22, 27.
 39. *Witkowski T.* Metody optymalizacji kolejnosci obrobki technologicznej dla zadan produkcyjnych. // Przegląd Mechaniczny. — 1994. — № 16. — S. 24–26, 28.
 40. *Witkowski T.* Optymalizacja przydzialu maszyn w problemie harmonogramowania. // Przegląd Mechaniczny. — 1995. — № 5. — S. 24–26, 28.

Вітковські Т. Моделі нечітких множин в комп'ютерних системах прийняття рішень для управління підприємством в умовах ринкової економіки. Рукопис. 05.13.04. — «Автоматизовані системи управління та системи обробки інформації». Національний Технічний університет України (Київський політехнічний інститут). Київ 1995.

В дисертації досліджено проблеми розробки комп'ютерних систем підтримки рішень для управління підприємством в умовах ринкової економіки. Головним чином за допомогою теорії нечітких множин розроблено комплекси узгоджених моделей і методів для представлення та придбання знань. Системи підтримки прийняття рішень реалізовано у вигляді багатокрокових і багатокритеріальних процедур, що використовують методи переробки неповної та невизначеної інформації. Докладно досліджено задачі вибору стратегії розвитку виробництва, проектування структур виробничих систем, оперативного управління, моделювання діяльності підприємства, що одержує замовлення в умовах торгу. Результати роботи впроваджено у складі автоматизованої системи управління підприємством і для навчання кадрів у галузі менеджменту.

Ключові слова: автоматизовані системи управління, системи підтримки прийняття рішень, моделі нечітких множин, ділові ігри.

Witkowski T. The fuzzy sets methods in computer systems decision making for management enterprise in market economic conditions. Manuscript. 05.13.04 — «Automatized control systems and processing information systems». The National Technical University of Ukraine (Kiev Polytechnical Institute). Kiev, 1995.

In dissertation have been searched the problems of design DSS for management enterprise in market conditions. In generally, by means fuzzy-sets theory have been elaborated the complex of co-ordinate methods and models for presentation and acquisition of knowledge. The systems supporting problem solving realized in forms multistep, multicriterion procedures using the methods of processing incomplete and uncertain information. Elaborate choice problems of development strategie of manufactures, projecting production systems structure, the operative control modeling the activity of enterprise which obtain orders by means negotiations. The results of research have been included in structure of the automatized control systems of enterprise and for training of the staff in management field.

Подп. в печ. 17.07.95. Формат 60×84/16. Бум. мн. ап. Офс. печ. Усл. печ.
л. 2,09. Усл. кр.-отт. 2,32. Уч.-изд. л. 2,0. Тираж 100 экз. Заказ 701

Редакционно-издательский отдел с полиграфическим участком
Института кибернетики имени В. М. Глушкова НАН Украины
252022 Киев 22, проспект Академика Глушкова, 40

1446/14

AB 33.080

AB 33.080