

На правах рукописи

БРОДСКИЙ Михаил Ильич

**МОДЕЛИРОВАНИЕ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ
СИСТЕМЫ С НЕЧЕТКОЙ ПОСТАНОВКОЙ ДЛЯ ПРИНЯТИЯ
РЕШЕНИЙ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ ПРОИЗВОДСТВА
(НА ПРИМЕРЕ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ)**

05.13.18 – «Математическое моделирование,
численные методы и комплексы программ»

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Тюмень – 2006

Работа выполнена на кафедре АСОИиУ
ГОУ ВПО «Омский государственный технический университет»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Чуканов Сергей Николаевич.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Шапцев Валерий Алексеевич,

доктор технических наук, профессор
Хомченко Василий Герасимович.

Ведущая организация: Федеральное государственное унитарное
предприятие «Центральное конструктор-
ское бюро автоматики», г. Омск

Защита состоится 19 декабря 2006 г. в 12⁰⁰ часов на заседании диссертацион-
ного совета К 212.274.01 при Тюменском государственном университете по адре-
су 625003, г. Тюмень, ул. Перекопская 15А, ауд.217.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Тюменского государствен-
ного университета.

Автореферат разослан « » ноября 2006 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Бутакова Н.Н.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. На сегодняшний день, в условиях жесткой рыночной конкуренции, руководители предприятий вынуждены опираться на помощь автоматизированных систем для принятия эффективных решений управления. В свою очередь, автоматизированные системы должны базироваться на современных математических методах, обеспечивать поддержку принятия сложных решений, учитывая многие цели и ограничения в работе предприятия.

Актуальность темы диссертации обусловлена необходимостью многокритериального моделирования поддержки принятия решений при планировании производственных процессов на предприятии. Современные программные комплексы уже в совершенстве автоматизируют этап документооборота на предприятии, позволяют составлять различные аналитические отчеты и выборки. Однако системы поддержки принятия решений, позволяющие руководителю принимать математически просчитанные оптимальные решения, практически отсутствуют на рынке программных продуктов. Так, например, в работе приведено описание таких известных на этом рынке систем, как FINECHAIN Manufacturing Solution, Factelligence, ORTEMS APS. Все эти системы решают множество задач автоматизации, но не решают проблему, поднятую в диссертации. Универсальные пакеты для решения задач оптимизации, такие как OPL Studio и GLPK, не позволяют учесть в модели все предъявляемые к работе требования. Использование же механизмов языка программирования Visual Prolog, на котором, как правило, создаются системы поддержки принятия решений, не столь эффективно для реализации алгоритмов многокритериальной оптимизации.

В основу работы положено три актуальных научных направления.

Во-первых, это многокритериальная оптимизация с учетом нахождения компромиссного решения в случаях Парето-неразрешимости исходной задачи. При внедрении систем оптимизации в работу, как правило, возникает вопрос о возможности результата удовлетворять сразу нескольким критериям. Поэтому, высокую практическую значимость будет иметь система, базирующаяся именно на методах многокритериальной оптимизации.

Во-вторых, процессы, происходящие на предприятии важно рассматривать с течением времени, анализировать по временным интервалам, поэтому вторым направлением стало использование принципов динамического программирования. Необходим подход, актуальный для использования в условиях динамично изменяющейся ситуации на рынке, и суть его заключается в том, что решение на каждом следующем шаге зависит от предыдущих.

В-третьих, для нахождения компромиссного решения в случаях Парето-неразрешимости исходной задачи, был выбран нечеткий подход к выполнению целей и ограничений. Практика показывает высокую эффективность сочетания нечеткой логики и задач оптимизации, так называемой «фазификацией» целей и ограничений.

Тема исследования была выбрана следующая: создание программного комплекса для поддержки принятия решения в процессе производства, в основу которой положен специализированный математический аппарат, объединяющий все три вышеуказанных направления.

Актуальность данной проблемы, недостаточная изученность отдельных теоретических и прикладных аспектов применительно к современным условиям определили выбор темы диссертационной работы и рассматриваемый в ней круг вопросов.

Состояние изученности проблемы. Вопросы многокритериальной оптимизации, динамического программирования и нечеткой логики исследовались большим кругом специалистов. Среди ученых, работавших над проблемой многокритериальной оптимизации, следует выделить Р. Штойера, основные работы по динамическому программированию принадлежат Р. И. Беллману, значительные разработки в области нечеткой логики – Л. А. Заде.

Не так давно возникло научное направление, объединяющее нечеткую логику и динамическое программирование, – нечеткое динамическое программирование. В рамках данного направления хорошо известны работы Дж. Каспржика, Т. Тэрано, А. О. Эзогби. Изучением применения нечеткого динамического программирования к задачам многокритериальной оптимизации занимались М. Л.

Хуссеин, М. Фридман. Из российских ученых, работающих в данном направлении, следует выделить Д. А. Поспелова, А. Е. Алтунина, М. В. Семухина.

Однако, несмотря на достаточно глубокую разработанность многих теоретико-методологических аспектов данной проблемы, в большинстве исследований мало внимания уделяется вопросам создания рекуррентных соотношений для решения проблемы многокритериального нечеткого динамического программирования, которая заключается в так называемом «проклятии размерности».

Соответствие паспорту специальности. Все вышеизложенное послужило основанием для выбора направления исследования, определения целей и задач диссертационной работы. Тема диссертации соответствует пунктам 5, 6 Паспорта специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Цель и задачи исследования. Целью работы является создание программного комплекса для поддержки принятия решения в процессе производства и выпуска продукции, которая предназначена для моделирования и автоматизации деятельности управляющих структур предприятия и оптимизации выпуска продукции. При проектировании системы в основу должен быть положен математический аппарат, способный решать задачи многокритериальной оптимизации динамической системы в нечеткой постановке – Multiobjective Fuzzy Dynamic Programming (MFDP). В соответствии с целью диссертационного исследования были поставлены следующие задачи:

- разработать рекуррентные соотношения для решения задач многокритериальной оптимизации динамической системы в нечеткой постановке;
- создание комплекса проблемно-ориентированных программ для проведения моделирования поддержки принятия решений в многокритериальных многошаговых задачах нечеткого динамического программирования;
- непосредственно проведение моделирования на базе созданного программного комплекса.

В возможности программного комплекса должно входить:

- расчет объемов планируемого выпуска продукции по временным интервалам (дням, месяцам и т.д.) с учетом заданных ограничений;

- возможность указывать, по крайней мере, две цели оптимизации;
- использование лингвистических переменных для определения степени достижения целей и выполнения ограничений.

Методы исследования. В данной работе следует разделить методы исследования на теоретические и практические.

К теоретическим методам исследования относятся следующие научные направления:

- многокритериальная оптимизация;
- пошаговое принятия решений;
- метод динамического программирования Р. Беллмана;
- методы оценки взаимосвязи нечетких целевых функционалов К. Карлсон;
- нечеткая логика Л. Заде.

К практическим методам исследования:

- реализация алгоритма на языке программирования С# входящим в состав Visual Studio .NET
- проектирование и создание базы данных на СУБД Microsoft SQL Server 2000.

Теоретической и методологической основой исследования послужили труды отечественных и зарубежных ученых, а также практиков в области организации оптимальных производственных процессов. В качестве исходных источников информации использовались материалы производственно-технологические рецептурные карты ЗАО «Регион-продукт», материалы личных исследований автора, опубликованные монографии, статьи, авторефераты.

Для достижения поставленных в диссертационной работе цели и задач применялись апробированные отечественным и мировым опытом методологические подходы, связанные с использованием системного анализа и частных математических методов.

Научная новизна исследования. Основными результатами диссертационной работы, определяющими её новизну, являются разработанные лично автором:

- комплекс проблемно-ориентированных программ для проведения моделирования поддержки принятия решений в многокритериальных многошаговых задачах нечеткого динамического программирования;
- результаты моделирования поддержки принятия решений в процессе производства и выпуска продукции пищевой промышленности;
- рекуррентные соотношения для решения проблемы многокритериального нечеткого динамического программирования.

Основные положения, выносимые на защиту:

- комплекс проблемно-ориентированных программ для проведения моделирования поддержки принятия решений в многокритериальных многошаговых задачах нечеткого динамического программирования;
- результаты моделирования поддержки принятия решений в процессе производства и выпуска продукции пищевой промышленности;
- рекуррентные соотношения для решения проблемы многокритериального нечеткого динамического программирования.

Практическая значимость работы заключается в возможности использования разработанной системы поддержки принятия решений для планирования производственных процессов на предприятиях РФ. Благодаря гибкости системы, она может быть настроена на расчет оптимального количества для производства практически любой группы товаров, при условии, если исходные компоненты заданы количественно. Практическая значимость диссертационной работы подтверждается актом внедрения системы в ЗАО «Регион-продукт» (г. Омск).

Апробация проведенных исследований. Теоретические результаты исследований и, основанные на них, практические рекомендации докладывались и получили одобрение на XL Международной научной студенческой конференции «Студент и научно-технический прогресс» (2002 г., Новосибирск), Региональной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука. Техника. Инновации» (2002 г., Новосибирск), Ежегодном научном семинаре аспирантов и студентов-выпускников «Под знаком « Σ » (2002 г., Омск), XLI Международной научной студенческой конференции «Студент и научно-технический прогресс»

(2003 г., Новосибирск), XI Всероссийском семинаре «Нейроинформатика и ее приложения» (3-5 октября 2003 г., Красноярск), II Всероссийской научно-практической конференции «Молодежь и современные информационные технологии» (2004 г., Томск), V Международной научно-технической конференции «Динамика систем, механизмов и машин» (16-18 ноября 2004 г., Омск), III Международном технологическом конгрессе «Военная техника, вооружения и технологии двойного применения» (7-10 июня 2005 г., Омск), III Всероссийской научной молодежной конференции «Под знаком Σ » (4-6 июля 2005 г., Омск), а также на научно-методических семинарах кафедры «Автоматизированные системы обработки информации и управления» Омского государственного технического университета и семинаре в Тюменском государственном университете.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 12 печатных работ.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы из 158 наименований и приложений. Работа изложена на 113 страницах машинописного текста, содержит 7 таблиц, 22 рисунок и 4 приложения.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы диссертационной работы, дается характеристика ее общей изученности, сформулирована цель и задачи, определены объект и предмет исследования, научная новизна, практическая значимость и основные направления апробации выполненной работы.

В первой главе приведен обзор существующих методов решения проблемы. Рассматриваются методы представлений дифференциальных уравнений динамики в нечетком виде: прямой метод Фридмана (нечеткая динамика как альтернатива статистической механики) и обратный метод Каспержика (многошаговое принятие решений в нечетких условиях при фиксированном времени окончания).

Кроме этого, в главе приведен алгоритм нечеткого итеративного динамического программирования (Fuzzy iterative dynamic programming - FIDP) и описаны работы по управлению динамическими системами в нечетких условиях.

Приведен обзор существующих систем для оптимизации производства.

Во второй главе дается теоретическое обоснование и подробное описание используемого математического аппарата, используемого в программном комплексе поддержки принятия решений.

Формализуем постановку задачи в математической форме. Определим i -ый функционал

$$f_i(\mathbf{u}_t) = \sum_{t=1}^{T_f} \{ \mathbf{T}(\mu_{G_i}(\mathbf{x}_t), \mu_C(\mathbf{x}_t, \mathbf{u}_t)) \} |_{\mathbf{x}_{t+1} = \mathbf{f}(\mathbf{x}_t, \mathbf{u}_t)}, \quad (1a)$$

где \mathbf{T} - треугольная норма, являющаяся моделью оператора конъюнкции для нечетких переменных, $\mu_{G_i}(\mathbf{x}_t)$ - функция принадлежности i -ой цели ($i = 1, \dots, I$), $\mu_C(\mathbf{x}_t)$ - функция принадлежности ограничений, T_f - терминальный шаг (время изменяется дискретно от 1 до T_f).

Постановкой задачи является нахождение такой оптимальной последовательности решений $\{\mathbf{u}_1, \dots, \mathbf{u}_T\}$, что многокритериальные цели достигают их оптимальных значений одновременно в течение многоступенчатого процесса принятия решения:

$$\max_{\mathbf{u}_t \in \Omega_t, t=1, \dots, T} \{ [f_1(\mathbf{u}_t), \dots, f_I(\mathbf{u}_t)] |_{\mathbf{x}_{t+1} = \mathbf{f}(\mathbf{x}_t, \mathbf{u}_t)} \}, \quad (1)$$

где $f_i(\mathbf{u}_t)$ - численное значение, достигаемое i -ой целью при формировании решения $\mathbf{u}_t \in \Omega$ на шаге t ; Ω - пространство векторов решений, удовлетворяющих соотношениям динамики системы и ограничениям:

$$\Omega = \{ \mathbf{u}_t | \mathbf{x}_{t+1} = \mathbf{f}(\mathbf{x}_t, \mathbf{u}_t); \mathbf{g}(\mathbf{x}_t, \mathbf{u}_t) \leq \mathbf{b} \}, \quad (2)$$

где $\mathbf{x}_t \in R^N$ - вектор состояния динамической системы; $\mathbf{u}_t \in R^M$ - вектор решений, соответственно; $\mathbf{g} \in R^K$ - вектор функций ограничений; $\mathbf{b} \in R^K$ - вектор границ ограничений.

Принятие решений возможно, если имеется множество допустимых альтернатив решений $\mathbf{u}^m \in \Omega$. Альтернатива решений \mathbf{u}^l предпочитается альтернативе \mathbf{u}^m ,

если $f_i(\mathbf{u}^l) > f_i(\mathbf{u}^m)$, $\forall i$. Альтернатива \mathbf{u}^l строго эффективна (оптимальна по Парето), если невозможно найти такую альтернативу \mathbf{u}^m ($l \neq m$), что $f_i(\mathbf{u}^m) \geq f_i(\mathbf{u}^l) \forall i$ и $f_j(\mathbf{u}^m) > f_j(\mathbf{u}^l)$ для хотя бы одного i . Задача определения решения \mathbf{u}^* , такого что $f_i(\mathbf{u}^*) \geq f_i(\mathbf{u}^m) \forall \mathbf{u}^m$ и $\forall i$, может быть решена, если существует набор возможных "четких" альтернатив и имеется модель предпочтений.

Задача нахождения такой последовательности решений $\{\mathbf{u}_1, \dots, \mathbf{u}_T\}$, что многокритериальные цели достигают их оптимальных значений при выполнении нечетких целей G_i и нечетких ограничений C_k , может быть поставлена как задача нахождения максимума функционала:

$$\max_{\mathbf{u}_t \in \Omega_t, t=1, \dots, T} \left\{ \sum_{t=1}^T T(\mu_{G_i}(\mathbf{x}_t), \mu_{C_k}(\mathbf{x}_t, \mathbf{u}_t)) \right\}, \quad (3)$$

при выполнении динамических соотношений перехода: $\mathbf{x}_{t+1} = \mathbf{f}(\mathbf{x}_t, \mathbf{u}_t)$.

Обозначим как $\mu_{C_k}(\mathbf{x}_t, \mathbf{u}_t)$ - функцию принадлежности выполнения ограничений $g_k(\mathbf{x}_t, \mathbf{u}_t)$, $k=1, \dots, K$ [10 - 14]:

$$\begin{aligned} \mu_{C_k}(\mathbf{x}_t, \mathbf{u}_t) &= 0, \text{ если } g_k(\mathbf{x}, \mathbf{u}) > b_k + p_k; \\ \mu_{C_k}(\mathbf{x}_t, \mathbf{u}_t) &= [b_k + p_k - g_k(\mathbf{x}_t, \mathbf{u}_t)]/p_k, \text{ если } b_k \leq g_k(\mathbf{x}_t, \mathbf{u}_t) \leq b_k + p_k; \\ \mu_{C_k}(\mathbf{x}_t, \mathbf{u}_t) &= 1, \text{ если } g_k(\mathbf{x}_t, \mathbf{u}_t) < b_k; \end{aligned} \quad (4)$$

где p_k - величины "нечеткости" ограничений.

Ограничения могут быть агрегированы с помощью треугольной T - нормы:

$$\mu_C(\mathbf{x}_t, \mathbf{u}_t) = T\{\mu_{C_1}(\mathbf{x}_t, \mathbf{u}_t), \dots, \mu_{C_K}(\mathbf{x}_t, \mathbf{u}_t)\}.$$

В дальнейшем будем использовать функцию минимума в качестве T - нормы:

$$\mu_C(\mathbf{x}_t, \mathbf{u}_t) = \min\{\mu_{C_1}(\mathbf{x}_t, \mathbf{u}_t), \dots, \mu_{C_K}(\mathbf{x}_t, \mathbf{u}_t)\}. \quad (5)$$

Определим функции принадлежности μ_{G_i} выполнения i - ой цели:

$$\begin{aligned} \mu_{G_i}(\mathbf{u}) &= 0, \text{ если } f_i(\mathbf{u}) \leq m_i; \\ \mu_{G_i}(\mathbf{u}) &= (f_i(\mathbf{u}) - m_i)/(M_i - m_i), \text{ если } m_i \leq f_i(\mathbf{u}) \leq M_i; \\ \mu_{G_i}(\mathbf{u}) &= 1, \text{ если } f_i(\mathbf{u}) \geq M_i; \end{aligned} \quad (6)$$

где максимальные требования выполнения цели $M_i [\leq \max_{\mathbf{u} \in \Omega} f_i(\mathbf{u})]$; минимальные требования $m_i [\geq \min_{\mathbf{u} \in \Omega} f_i(\mathbf{u})]$.

Если при принятии многокритериальных решений с взаимосвязанными критериями имеются находящиеся в противоречии цели, то не существует оптимального решения, удовлетворяющего все критерии.

Пусть f_i, f_j - целевые функции. Будем считать, что [1]:

I. f_i кооперируется с f_j ($f_i \uparrow f_j$), если из $f_i(\mathbf{u}') \geq f_i(\mathbf{u})$ следует $f_j(\mathbf{u}') \geq f_j(\mathbf{u})$; $\forall \mathbf{u}', \mathbf{u} \in \Omega$;

II. f_i конфликтует с f_j ($f_i \downarrow f_j$), если из $f_i(\mathbf{u}') \geq f_i(\mathbf{u})$ следует $f_j(\mathbf{u}') \leq f_j(\mathbf{u})$; $\forall \mathbf{u}', \mathbf{u} \in \Omega$;

III. f_i и f_j независимы, иначе.

Пусть f_i - целевая функция; введем степень взаимозависимости функции f_i от других целевых функций f_j ($i \neq j$):

$$\Delta(f_i) = (w_i - k^{-1}) + (\sum_{f_i \uparrow f_j; i \neq j} w_j) - (\sum_{f_i \downarrow f_j} w_j); i = 1, \dots, I. \quad (7)$$

Вычислим $\Delta(f_i)$ для $i = 1, \dots, I$ и изменим функции принадлежности выполнения целей μ_{G_i} в зависимости от $\Delta(f_i)$ следующим образом:

$$\mu_{G_i}(\mathbf{u}, \Delta) = \mu_{G_i}(\mathbf{u})^{\exp(\alpha * \Delta)}. \quad (8)$$

Значение критерия $\max_{\mathbf{u} \in \Omega} \{\mu_G(\mathbf{u})\}$ - максимизируют совместно все цели; $\mu_{G_i}(\mathbf{u}) \in [0, 1]$; $i = 1, \dots, I$; $\mu_G(\mathbf{u}) = \min\{\mu_{G_1}(\mathbf{u}), \dots, \mu_{G_I}(\mathbf{u})\}$; поэтому критерий $\max_{\mathbf{u} \in \Omega} \{\mu_G(\mathbf{u})\}$ можно считать агрегированным критерием целей G_1, \dots, G_I . Если относительная важность задается набором весов: $w = (w_1, \dots, w_I)$; $w_i > 0$; $\sum_{i=1}^I w_i = 1$, то для агрегирования может использоваться оператор Колмогорова:

$$\mu_G(\mathbf{u}) = \varphi^{-1}(I^{-1} \sum_{i=1}^I \varphi(\mu_{G_i}(\mathbf{u}))),$$

где $\varphi(\cdot)$ - гладкая монотонная функция и $\varphi(0) = 0$; $\varphi(1) = 1$. Тогда в качестве критерия будет выступать значение:

$$\max_{\mathbf{u} \in \Omega} \{\varphi^{-1}(I^{-1} \sum_{i=1}^I \varphi(\mu_{G_i}(\mathbf{u})))\}. \quad (9)$$

При формировании решения должны выполняться нечеткие цели G и нечеткие ограничения C . Функция принадлежности степени выполнения агрегирован-

ной цели при формировании решения на шаге t может измеряться функцией принадлежности $\mu_D(\mathbf{x}_t, \mathbf{u}_t)$ [2]:

$$\mu_D(\mathbf{x}_t, \mathbf{u}_t) = T\{\mu_G(\mathbf{x}_t), \mu_C(\mathbf{x}_t, \mathbf{u}_t)\}; \quad (10)$$

где $\mu_C(\mathbf{x}_t, \mathbf{u}_t) = T\{\mu_{C_1}(\mathbf{x}_t, \mathbf{u}_t), \dots, \mu_{C_K}(\mathbf{x}_t, \mathbf{u}_t)\}$ – треугольная T - норма функций принадлежности выполнения ограничений (см. (4)) на шаге t ; $\mu_G(\mathbf{x}_t)$ - агрегированный критерий нечетких целей (см. (9)) на шаге t . Для множества решений, выбирается такой вектор решений \mathbf{u}_t^* , который имеет наибольшую степень выполнимости $\mu_D(\mathbf{x}_t, \mathbf{u}_t)$:

$$\mu_D^*(\mathbf{x}_t, \mathbf{u}_t^*) = \max_{\mathbf{u}_t \in \Omega_t} \mu_D(\mathbf{x}_t, \mathbf{u}_t) = \max_{\mathbf{u}_t \in \Omega_t} T\{\mu_G(\mathbf{x}_t), \mu_C(\mathbf{x}_t, \mathbf{u}_t)\}. \quad (11)$$

Прямое применение метода нечеткого динамического программирования для формирования оптимальных решений затруднено следующими обстоятельствами: (1) "проклятие размерности" - требование большого объема адресуемого пространства запоминающего устройства (в зависимости от количества узлов и размерности вектора состояния, количества узлов и размерности вектора управления и требуемого числа шагов); для решения этой проблемы необходимо применять итерационные методы; (2) требуемая траектория вектора состояния и вектора управления не совпадает с предусмотренными узлами вектора состояния и вектора управления; для решения этой проблемы необходимо применять методы аппроксимации между узлами; (3) для выполнения начальных условий, накладываемых на вектор состояния \mathbf{x}_1 , необходимо чтобы векторы состояния \mathbf{x}_t удовлетворяли динамическим соотношениям перехода:

$$\mathbf{x}_{t+1} = \mathbf{f}(\mathbf{u}_t, \mathbf{x}_t); t = 1, \dots, T-1,$$

с требуемым начальным вектором состояния \mathbf{x}_1 .

Сформулируем многоступенчатый метод решения многокритериальной задачи в форме соотношения:

$$\max_{\mathbf{u}_t \in \Omega_t, t=1, \dots, T} \{\rho_D(\mathbf{u}_{(1)}) | \mathbf{x}_{t+1} = \mathbf{f}(\mathbf{x}_t, \mathbf{u}_t)\}, \quad (12)$$

где: $\rho_D(\mathbf{u}_{(1)}) = \sum_{t=1}^T \mu_D(\mathbf{x}_t, \mathbf{u}_t)$; $\mathbf{u}_{(1)} = \{\mathbf{u}_1, \mathbf{u}_2, \dots, \mathbf{u}_T\}$; $\mu_D(\mathbf{x}_t, \mathbf{u}_t)$ – определяется из соотношения (10).

Определим величину $\Phi_t(\mathbf{u}_b, \mathbf{x}_t)$ на шаге t соотношением:

$$\Phi_t(\mathbf{u}_b, \mathbf{x}_t) = \{\rho_D^{(t)}(\mathbf{u}) | \mathbf{x}_{t+1} = \mathbf{f}(\mathbf{x}_b, \mathbf{u}_t); \tau \geq t\} \quad (13)$$

и оптимальную величину $\Phi_t^*(\mathbf{u}_b, \mathbf{x}_t)$ на шаге t соотношением:

$$\Phi_t^*(\mathbf{u}_b, \mathbf{x}_t) = \max_{\mathbf{u}_{\tau \in \Omega_{\tau}} \tau = t, \dots, T} \{\rho_D^{(t)}(\mathbf{u}_{(t)}) | \mathbf{x}_{t+1} = \mathbf{f}(\mathbf{x}_b, \mathbf{u}_t); \tau \geq t\}, \quad (14)$$

где

$$\rho_D^{(t)}(\mathbf{u}_{(t)}) = \sum_{\tau=t}^T \mu_D(\mathbf{x}_{\tau}, \mathbf{u}_{\tau}); \mathbf{u}_{(t)} = \{\mathbf{u}_b, \mathbf{u}_{t+1}, \dots, \mathbf{u}_T\}. \quad (15)$$

Тогда принцип обычного динамического программирования в случае нечеткой постановки преобразуется в рекуррентное соотношение:

$$\Phi_t^*(\mathbf{u}_b, \mathbf{x}_t) = \max_{\mathbf{u}_t \in \Omega_t} \{\rho_D^{(t)}(\mathbf{u}_{(t)}) + \Phi_{t+1}^*(\mathbf{u}_{t+1}, \mathbf{x}_{t+1})\}; t = T, T-1, \dots, 1, \quad (16)$$

где \mathbf{u}_t - решение на шаге t ; оптимальная последовательность векторов решений

$$\mathbf{u}_{(t)}^* = \{\mathbf{u}_t^*, \mathbf{u}_{t+1}^*, \dots, \mathbf{u}_T^*\},$$

при которых выполняется соотношение (16), должна определяться для всех узлов \mathbf{x}_t . После получения оптимальной последовательности решений $\mathbf{u}_{(1)}^* = \{\mathbf{u}_1^*, \dots, \mathbf{u}_T^*\}$ может быть определена последовательность векторов состояний, удовлетворяющих с динамическим соотношениям:

$$\mathbf{x}_{t+1} = \mathbf{f}[\mathbf{u}_t^*(\mathbf{x}_t), \mathbf{x}_t]; t = 1, \dots, T-1$$

и начальному условию \mathbf{x}_1 .

В третьей главе представлено описание программного комплекса поддержки принятия решений.

Комплекс создан на языке программирования C# из пакета Microsoft Visual Studio .Net с использованием СУБД Microsoft SQL Server 2000 и её целью является поддержка принятия решений управляющих структур предприятия по объемам выпуска продукции.

Для начала необходимо задать основные исходные данные о технологии производства. Для этого необходимо воспользоваться автоматизированным рабочим местом технолога производства. Необходимо спроектировать и задать основные параметры производства каждого товара, составить рецептуру производства и определиться с количеством требуемого сырья, временем производства и прочи-

ми ограничивающими производство факторами. Затем требуется задать нормативно-справочную информацию. Далее снять данные о количестве и видах сырья на складе. Этим занимается оператор склада на своём автоматизированном рабочем месте. В конце нужно выделить ряд критериев, которые требуется оптимизировать и задать их параметры.

Все данные нужно подать на входе системы, задав предварительно информацию о видах отчётов и получаемой информации. Основной алгоритм системы должен провести многокритериальную оптимизацию, то есть решить задачу оптимизации для всех заданных критериев с учётом ограниченной. После этого можно пользоваться полученными результатами для принятия конкретных решений о выпуске продукции.

На рис.1 приведены скриншоты некоторых диалоговых окон, которые выдает система в процессе работы.

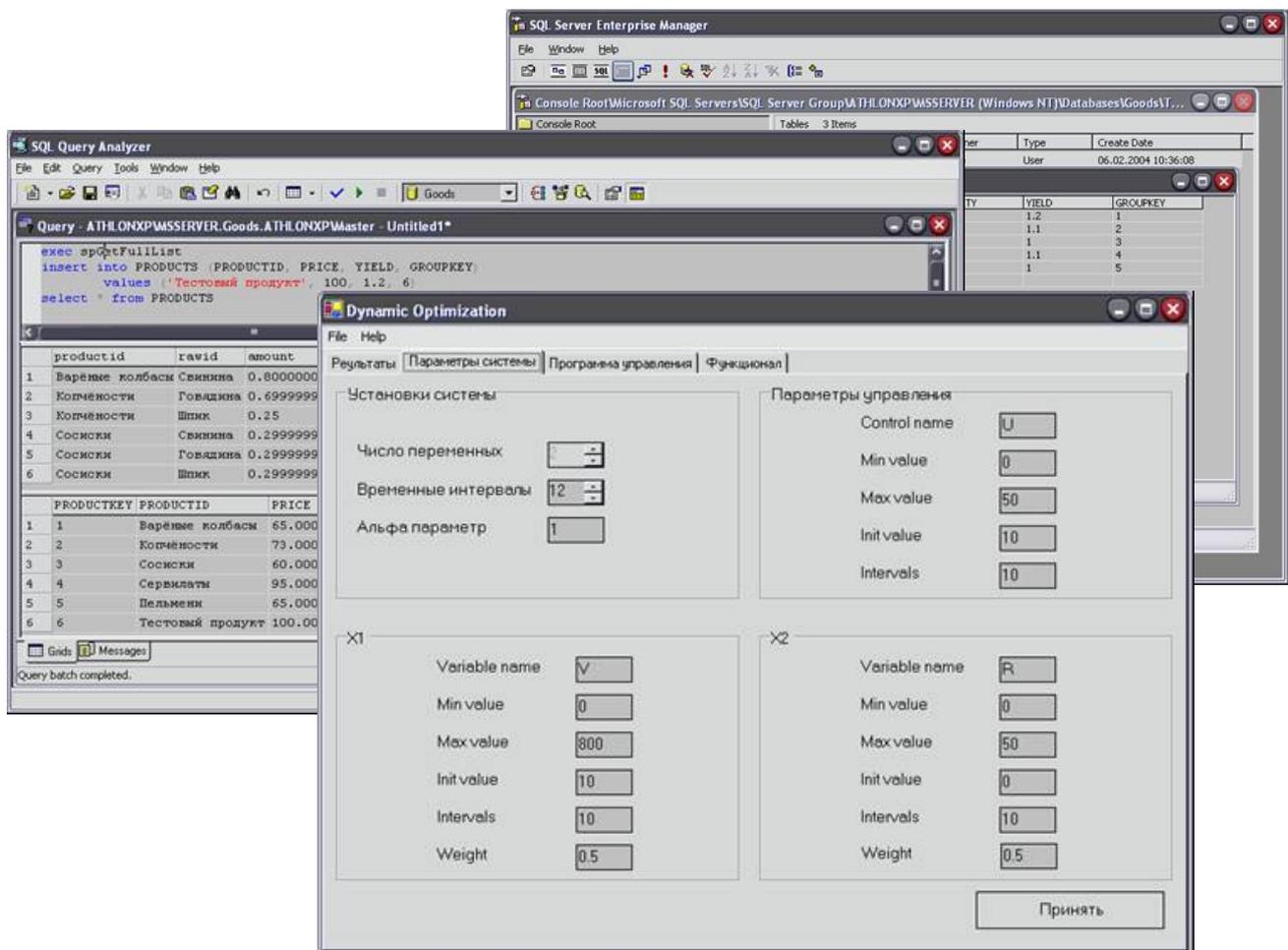


Рис.1. Скриншоты диалоговых окон системы.

В четвёртой главе приведены результаты моделирования системы оптимизации. Проведено два варианта моделирования. Для первого варианта моделирования была избрана цель составить оптимальный план производства (первый критерий) и оптимальный план завоза основного сырья (второй критерий) для производства вареных колбас на год. Для второго варианта моделирования были выбраны аналогичные параметры для производства копченостей. Кроме того, одной из целей проведения моделирования вышеуказанных вариантов являлось обоснование достоверности функционирования разработанной системы оптимизации.

Исходные данные для вариантов моделирования приведены в таблице 1.

Таблица 1

Исходные данные для вариантов моделирования

Месяц	План производства (с накоплением) (кг) Вариант №1	План завоза сырья (кг) Вариант №1	План производства (с накоплением) (кг) Вариант №2	План завоза сырья (кг) Вариант №2
Январь	3000	2000	8000	5000
Февраль	5000	2000	15000	5000
Март	8000	2000	21000	4000
Апрель	12000	4000	28000	5000
Май	20000	5000	30000	3000
Июнь	22000	4000	35000	3000
Июль	25000	5000	39000	3000
Август	30000	4000	50000	4000
Сентябрь	35000	5000	58000	5000
Октябрь	40000	4000	60000	4000
Ноябрь	45000	5000	64000	5000
Декабрь	50000	4000	72000	4000

Результаты моделирования приведены на рис. 2 для первого варианта и на рис. 3 для второго.

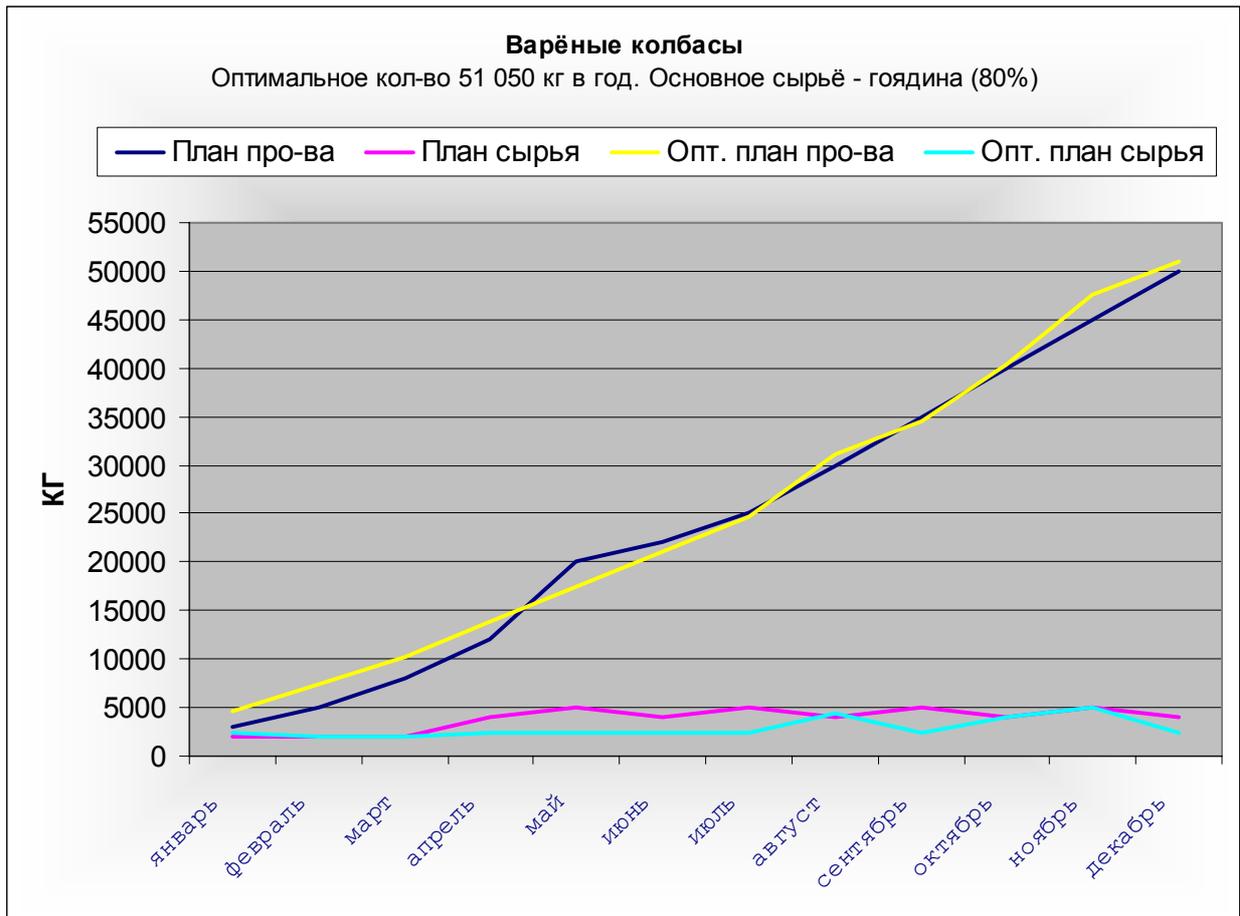


Рис. 2. Графические результаты моделирования (Вариант 1).

В ходе анализа полученных результатов моделирования первого варианта приводятся следующие данные: Среднее отклонение оптимального плана производства от исходного составило 727 кг/месяц, что составляет около 1,5% от общего объема производства в год. Среднее отклонение оптимального плана завоза сырья от исходного составило 916 кг/месяц, что составляет около 2% от общего объема завоза сырья в год. Среднее значение функции принадлежности степени выполнения цели №1 составляет 0,93, цели №2 – 0,78, что является достаточно высокими результатами.

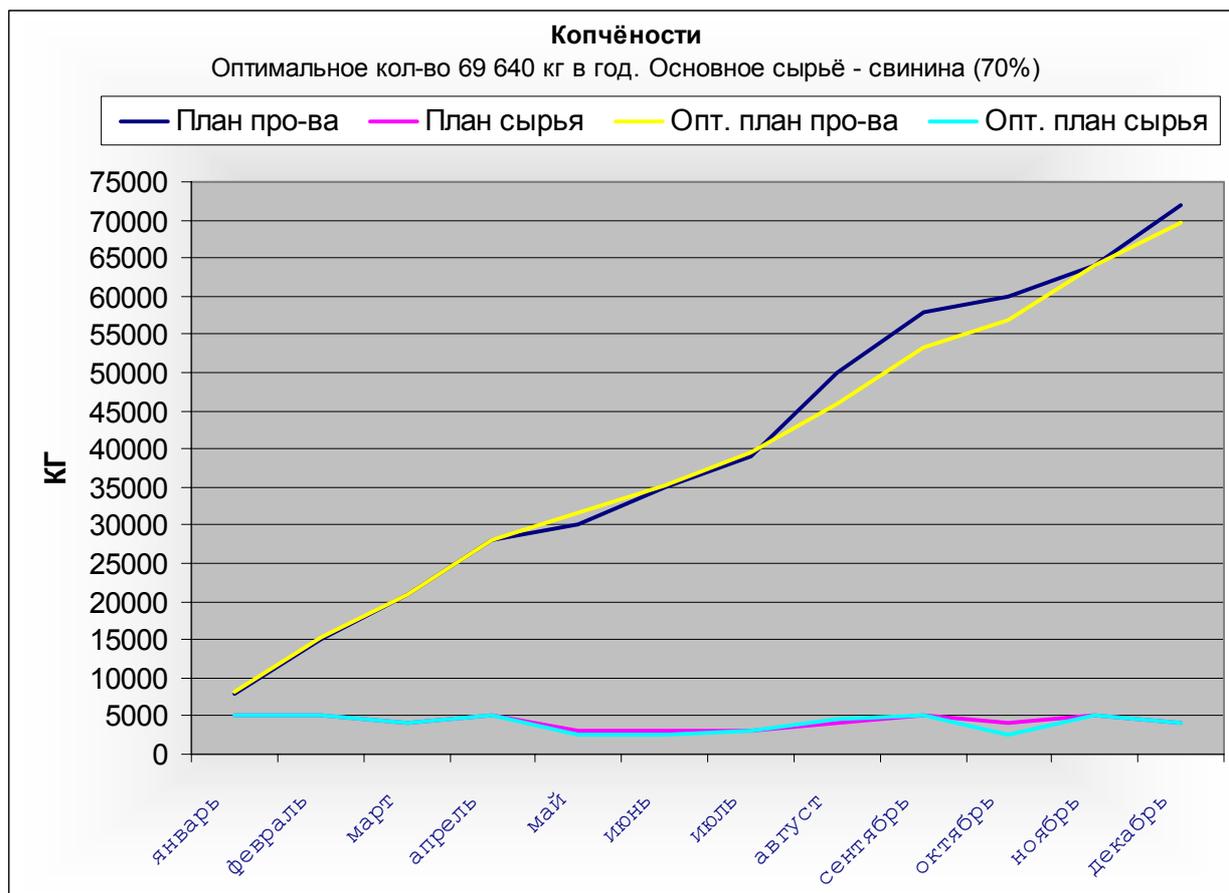


Рис. 3. Графические результаты моделирования (Вариант №2).

Данные, полученные в ходе анализов результатов моделирования второго варианта, следующие: Среднее отклонение оптимального плана производства от исходного составило 926 кг/месяц, что составляет около 1,3% от общего объема производства в год. Среднее отклонение оптимального плана завоза сырья от исходного составило 167 кг/месяц, что составляет около 0,3% от общего объема завоза сырья в год. Среднее значение функции принадлежности степени выполнения цели №1 составляет 0,89, цели №2 – 0,95, что является достаточно высокими результатами, как и у варианта моделирования №1.

В заключении обобщены результаты работы и сформулированы практические рекомендации по их использованию.

В целом следует отметить, что в результате применения программного комплекса поддержки принятия решений, удалось смоделировать оптимальный план производства, план поступления сырья и обойти Парето-неразрешимость с достаточно небольшими отклонениями от исходных планов благодаря внедрению в

многокритериальную оптимизацию динамической системы элементы нечеткой логики.

**Основные положения диссертации
опубликованы в следующих научных работах:**

1. Бродский М.И. Использование динамического программирования и нечетких методов для многокритериального принятия решений. // Динамика систем, механизмов и машин: Матер. V Междунар. науч.-техн. конф. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2004. Кн.1. – с. 355–359.
2. Бродский М.И. К вопросу об управляемости динамическими системами в нечетких условиях // Материалы ежегодного научного семинара аспирантов и студентов-выпускников «Под знаком « Σ ». –Омск: ООО «Издательство полиграфист», 2003. – с. 15-21.
3. Бродский М.И. Многокритериальная оптимизация в нечеткой постановке. Наука. Техника. Инновации // Регион. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых.: Тез. докл. в 5 частях Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. Часть 1. – с. 34-35.
4. Бродский М.И. Многокритериальная оптимизация динамической системы в нечеткой постановке // III Всероссийская научная молодежная конференция «Под знаком « Σ »: Тез. докл. –Омск: Полиграф. центр операт. печати, 2005. – с. 67-68.
5. Бродский М.И. Многокритериальная оптимизация динамической системы в нечеткой постановке: описание системы // Военная техника, вооружение и технологии двойного применения: Матер. III Междунар. технол. конгресса. – Омск: Изд-во ОмГУ, 2005 г. – Ч. II. – с. 17-18.
6. Бродский М.И. Нечеткая динамика как альтернативный метод обработки статистической информации // Материалы XLI Междунар. науч. студенческой конф. «Студент и научно-технический прогресс»: Информационные технологии / Новосиб. гос. ун-т. Новосибирск, 2003. – с. 104-105.

7. Бродский М.И. Нечеткая динамика как альтернативный метод обработки статистической информации // Материалы ХLI Междунар. науч. студенческой конф. «Студент и научно-технический прогресс»: Математика / Новосиб. гос. ун-т. Новосибирск, 2003. – с. 102-103.
8. Бродский М.И. Применение FDP к многокритериальным методам принятия решения // Математические структуры и моделирование: Сб. науч. тр./ Под ред. А.К.Гуца. – Омск: Омск. Гос. Ун-т, 2003 – Вып. 12. – с.5-9
9. Бродский М.И., Силков А.М. Опыт создания программного продукта для многокритериальной оптимизации нечеткой динамической системы // Молодежь и современные информационные технологии. Материалы тр. II Всерос. науч.-практ. конф. – Томск: Изд-во ТПУ, 2004. – с. 92–93.
10. Бродский М.И., Чуканов С.Н. Применение нечеткого динамического программирования в задачах многокритериального многоступенчатого принятия решения // Омский научный вестник.– 2004.– №4(29). – с. 74-78.
11. Бродский М.И., Чуканов С.Н. Эволюционные NFS. // Нейроинформатика и ее приложения: Материалы XI Всерос. семинара, 3-5 октября 2003 г. / Под ред. А.Н.Горбаня, Е.М.Миркеса. ИВМ СО РАН, Красноярск, 2003. – с.21-22
12. Бродский М.И. Опыт создания автоматизированной системы управления производством ЗАО «Регион-продукт» // Материалы XL Междун. науч. студенческой конф. «Студент и научно-технический прогресс»: Управление. – Новосибирск: СибАГС, 2002. – с. 20-21.