

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Тамбовский государственный технический университет»

**Е.И. Муратова, С.Г. Толстых**

# **ПРОЕКТИРОВАНИЕ РЕЦЕПТУР КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ**

Методические указания  
для студентов, обучающихся по направлениям  
260000 и 247000



---

Тамбов  
Издательство ГОУ ВПО ТГТУ  
2010

УДК 664.143  
ББК 36.86  
М91

Рекомендовано Редакционно-издательским советом университета

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент  
*О.Г. Иванова*

**Муратова, Е.И.**

М91 Проектирование рецептур кондитерских изделий : метод. указ. / Е.И. Муратова, С.Г. Толстых. – Тамбов : Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2010. – 32 с. – 100 экз.

Приведён алгоритм расчёта однофазных и многофазных рецептур кондитерских изделий. Рассмотрены вопросы использования компьютерного моделирования и специализированных программных комплексов для проектирования многокомпонентных пищевых систем. Представлен объектно-ориентированный подход к проектированию рецептур кондитерских изделий, реализованный в программе «Multifaz». Рассмотрены примеры решения задач оптимизации рецептурного состава кондитерских изделий.

Предназначено для студентов направлений 260000 «Технология продовольственных продуктов и потребительских товаров» и 247000 «Биотехнология».

УДК 664.143  
ББК 36.86

© Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тамбовский государственный технический университет» (ГОУ ВПО ТГТУ), 2010

## ВВЕДЕНИЕ

Перспективы развития ассортимента сахарных и мучных кондитерских изделий эксперты видят в создании новых вкусовых сочетаний, более экзотических и интересных, разработке рецептов кондитерских изделий функционального назначения, а также создании более сложных продуктов, находящихся на стыке различных категорий [1].

При производстве кондитерских изделий по новым рецептурам необходимо выполнять многочисленные технологические расчёты расхода сырья, полуфабрикатов, энергетической и пищевой ценности конечного продукта. Сложность решения задачи расчёта рецептов кондитерских изделий заключается в том, что в настоящее время используется большое количество рецептурных ингредиентов. В связи с этим расчёт рецептуры без использования современных компьютерных технологий требует значительных затрат времени, что может привести к потере оперативности управления производством. Использование программ MathCad, MatLab, Excel, а также специализированных программных продуктов для автоматизированного расчёта и оптимизации рецептов позволяет не только ускорить технологические расчёты, но и конструировать многокомпонентные пищевые системы с заданными свойствами – планируемой пищевой и энергетической ценностью и минимальной себестоимостью.

Из вышесказанного следует, что для обеспечения выпуска конкурентоспособной на рынке кондитерских изделий продукции технологи должны обладать комплексом профессиональных компетенций в области автоматизированного проектирования рецептов кондитерских изделий.

### 1. ПОРЯДОК РАЗРАБОТКИ НОВЫХ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Новой кондитерской продукцией считают вид продукции, впервые разработанной на основе новой рецептуры, новой технологии, нового сырья и не имеющей аналогов по техническим характеристикам и (или) потребительским свойствам. Новым видом кондитерских изделий считают изделие, изготовленное по существующей технологии и стандартной рецептуре, которое по органолептическим и физико-химическим характеристикам соответствует требованиям нормативных документов.

Порядок разработки и запуска в серийное производство новой кондитерской продукции и новых видов кондитерских изделий состоит из следующих ступеней [1-2]: 1) проведение маркетинговых исследований с целью выбора ассортимента; 2) проведение исследований с целью выбора рецептуры, установления показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых изделий, параметров технологического процесса; 3) разработка проектов рецептуры и технологической инструкции; 4) расчёт энергетической ценности, содержания жира, белка и углеводов в 100 г изделия;

5) представление проекта рецептуры и технологической инструкции на рассмотрение членам дегустационной комиссии за 10 дней до её заседания; 6) подготовка образцов; 7) разработка технических условий на опытную партию (для новой кондитерской продукции и новых видов кондитерских изделий, на которые не распространяются стандарты на группы однородной продукции); 8) рассмотрение изделий на заседании дегустационной комиссии и согласование документации актом (протоколом) дегустационной комиссии; 9) представление в НИИКП или другую организацию, занимающуюся присвоением кодов ОКП, письменного сообщения об утверждении рецептуры с указанием даты утверждения и сроков действия.

## 2. МЕТОДИКА РАСЧЁТА РЕЦЕПТУР КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Расчёт рецептур производят при разработке новых наименований кондитерских изделий на кондитерских фабриках, а также в случае изменения технологии или каких-либо технологических характеристик сырья, полуфабрикатов и готовых кондитерских изделий. Зачастую расчёт рецептур производят при изменении установленных значений массовой доли сухих веществ (СВ) сырья, полуфабрикатов или готовых изделий. В этих случаях и в случае изменения нормативов потерь СВ производят массовый пересчёт всех или значительной части рецептур на целую группу изделий. Рецептуры рассчитывают на основе исходных данных, которые можно разбить на три основные группы [1].

1. Соотношение компонентов – сырья и полуфабрикатов, расходующихся на изготовление. При этом для сложного изделия должны быть заданы технологические фазы его изготовления и соотношение компонентов по каждой фазе. Например, для изготовления карамели с начинкой: приготовление карамельной массы, приготовление начинки, изготовление карамели с начинкой. Эти данные для расчёта рецептур на новые сорта даёт опытное производство.

2. Нормы потерь СВ, сырья и полуфабрикатов по фазам производства и на изготовление всего изделия. Эти нормы принимают по справочной литературе, нормативной документации или на основании имеющихся данных по сходным фазам технологических процессов подобных изделий в действующих унифицированных рецептурах. Нормы потерь для новых видов изделий можно определить экспериментально с последующим утверждением в установленном порядке.

3. Плановая (расчётная) массовая доля СВ в сырье, полуфабрикатах и готовых изделиях (в процентах). Эти данные по массовой доле СВ в сырье принимают по справочной литературе, нормативным данным или по действующим унифицированным рецептурам. Массовая доля СВ в новых видах кондитерских изделий и полуфабрикатах может быть принята для новых изделий по данным лабораторного анализа как среднее ана-

лизов нескольких опытных образцов при обязательном сопоставлении с соответствующими значениями аналогичных сортов по стандартам или техническим условиям на данный вид изделий. Такое сопоставление необходимо также и по полуфабрикатам, входящим в новое изделие, если стандарт или технические условия нормируют влажность или массовую долю СВ, и на составляющие изделия полуфабрикаты (начинка для карамели, корпус для конфет и т.п.).

Для расчёта однофазной рецептуры необходимо установленный расход сырья на загрузку пересчитать на 1 т изделий с учётом потерь, образующихся в процессе производства. Для расчёта многофазной рецептуры вначале устанавливают наименование полуфабрикатов и их соотношение для 1 т готовых изделий, затем определяют расход сырья на 1 т каждого полуфабриката. После этого находят количество каждого вида сырья на часть полуфабриката, расходуемого при изготовлении 1 т изделий. В заключение рассчитывают суммарное количество сырья на 1 т готовых изделий с учётом пофазных и общих предельно допустимых потерь сухого вещества.

## 2.1. Расчёт однофазных рецептур

В таблице 1 в общем виде представлены исходные данные, формулы для расчёта однофазных рецептур и результаты расчётов.

Исходные данные для расчёта заносятся в графы 1 – 3 вышеуказанной таблицы. Перечень компонентов сырья и готовых полуфабрикатов заносится в графу 1. Содержание СВ в сырье и готовых полуфабрикатах  $S_n$  заносится в графу 2. Расход на загрузку всех видов сырья и готовых полуфабрикатов в натуре  $H_n^3$  заносится в графу 3; потери сухого вещества  $P^c$  проставляется в соответствующей строке графы 1. В строку «Выход готового изделия» графы 6 проставляется значение  $H_b^T$  – заданное количество готовой продукции равное 1000 кг. Полу жирные цифры **1**), **2**) и т.д. в ячейках таблицы показывают порядок расчёта. Алгоритм расчёта однофазных рецептур в соответствии с данными табл. 1:

1. Определяем  $C_n^3$  – расход компонентов на загрузку в сухом веществе.
2. Суммируя  $C_n^3$ , получаем  $C_i^3$  – итог расхода сырья на загрузку в сухом веществе.
3. Аналогично суммируя  $H_n^3$ , получаем  $H_i^3$  – итог расхода сырья на загрузку в натуре.
4. Рассчитываем содержание СВ в готовом изделии  $S_r$ .

## 1. Обобщённое представление данных для расчёта однофазных рецептов

Наименование сырья и полуфабрикатов	Содержание СВ, %	Расход сырья				
		на загрузку (или на 1т полуфабриката)		на заданное количество готовой продукции (полуфабриката)		в СВ
		в натуре	в СВ	в натуре	в СВ	
1	2	3	5	6	7	
Сырьё или полуфабрикат 1	$S_1$	$H_1^3$	1) $C_1^3 = \frac{H_1^3 S_1}{100}$	9) $H_1^T = \frac{C_1^T 100}{S_1}$	8) $C_1^T = C_1^3 K^H$	
Сырьё или полуфабрикат 2	$S_2$	$H_2^3$	$C_2^3 = \frac{H_2^3 S_2}{100}$	$H_2^T = \frac{C_2^T 100}{S_2}$	$C_2^T = C_2^3 K^T$	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
Сырьё или полуфабрикат $n$	$S_n$	$H_n^3$	$C_n^3 = \frac{H_n^3 S_n}{100}$	$H_n^T = \frac{C_n^T 100}{S_n}$	$C_n^T = C_n^3 K^H$	
Итого сырьё и полуфабрикаты		3) $H_n^3 = \sum_{i=1}^n H_i^3$	2) $C_n^3 = \sum_{i=1}^n C_i^3$	$H_n^T = \sum_{i=1}^n H_i^T$	6) $C_n^T = \frac{C_n^T 100}{100 - P^c}$	
Выход готового изделия или полуфабриката	4) $S_r = \frac{C_n^3 100}{H_n^3}$			$H_n^T$	5) $C_n^T = \frac{H_n^T S_r}{100}$	
Потери СВ	$P^c$				10) $P_c^T = \sum_{i=1}^n C_i^T$	
Коэффициент пересчёта				7) $K^H = \frac{C_n^T}{C_n^3}$		

5. Зная  $H_B^T$  – заданный выход готовой продукции в натуре (в данном случае он равен 1000 кг поскольку расчёт ведётся на одну тонну готовой продукции) и содержание СВ в готовом изделии  $S_r$ , находим выход готового изделия в сухом веществе  $C_B^T$ .

6. Зная потери СВ  $P^c$  и выход готового изделия в СВ  $C_B^T$ , определяем  $C_n^T$  – расход всех компонентов в СВ на приготовление одной тонны готовых изделий.

7. Находим  $K_n$  – коэффициент пересчёта, который показывает, во сколько раз следует увеличить количество сырья в СВ, предназначенное для загрузки, чтобы получить расход на 1 т изделий. В данном случае коэффициент  $K_n$  находят делением найденного итога затрат (в СВ) –  $C_n^T$ , на суммарное количество СВ, рассчитанное на загрузку –  $C_i^3$ .

8. С помощью коэффициента пересчёта получаем расход всех компонентов в СВ  $C_n^T$  на приготовление одной тонны готового изделия.

9. По найденным значениям  $C_n^T$  получаем расход всех компонентов в натуре  $H_n^T$  на приготовление одной тонны готового изделия.

10. Проверяем правильность расчёта сопоставлением суммы расхода всех компонентов в СВ с ранее полученным итогом затрат  $C_i^T$ .

## 2.2. Расчёт многофазных рецептов

Для расчёта многофазной рецептуры кондитерских изделий требуются следующие исходные данные: наименование стадий изготовления фаз, рецептура каждой фазы (расход сырья на загрузку  $H_n^3$ ), планируемые потери СВ отдельно по фазам и на изготовление всего изделия  $P^c$  (%), планируемая массовая доля СВ всех исходных компонентов и готовых изделий  $S_n$ , %.

Расчёт многофазных рецептов выполняется в два этапа. На первом этапе производится расчёт по фазам кондитерского изделия, на втором этапе – по кондитерскому изделию в целом. Расчёт сложной рецептуры начинают с последней фазы путём заполнения табл. 1. Унифицированная таблица при расчёте всех последующих фаз содержит не две графы (расход сырья на загрузку и на 1 т фазы), а три (табл. 2). Третья графа – расход сырья на 1 т готовой продукции – содержит данные о расходе компо-

нентов, составляющих данную фазу изделия. Строка «Выход» граф 7 и 8 заполняется рассчитанными значениями расхода в натуре и в СВ на 1 т продукции для выбранной фазы.

Алгоритм промежуточного расчёта многофазных рецептов в соответствии с данными табл. 2:

1. Определяем  $C_n^3$  – расход компонентов на загрузку в СВ.
2. Суммируя  $C_n^3$ , получаем  $C_{\text{и}}^3$  – итог расхода сырья на загрузку в СВ.
3. Аналогично суммируя  $H_n^3$ , получаем  $H_{\text{и}}^3$  – итог расхода сырья на загрузку в натуре.
4. Рассчитываем содержание СВ в готовом изделии  $S_{\Gamma}$ .
5. Зная итог расхода сырья на загрузку в СВ  $C_{\text{и}}^3$  и потери  $P^c$ , рассчитываем  $C_{\text{в}}^3$  – выход полуфабриката на загрузку в СВ.
6. Определяем  $H_{\text{в}}^3$  – выход полуфабриката на загрузку в натуре.
7. Находим выход готового изделия в СВ  $C_{\text{в}}^T$ .
8. Определяем  $C_{\text{и}}^T$  – расход всех компонентов в СВ на приготовление одной тонны готовых изделий.
9. Находим коэффициент пересчёта  $K_1^H$ .
10. С помощью коэффициента пересчёта получаем расход всех компонентов в СВ  $C_n^T$  на приготовление 1 т готового изделия.
11. По найденным значениям  $C_n^T$  получаем расход всех компонентов в натуре  $H_n^T$  на приготовление 1 т готового изделия.
12. Находим  $K_2^H$  – коэффициент пересчёта, который показывает, во сколько раз следует увеличить количество сырья в натуре, предназначенное для загрузки, чтобы получить расход на 1 т изделий. Коэффициент  $K_2^H$  находят отношением расхода сырья на 1 т продукции для выбранной фазы –  $H_{\text{в}}^{\Phi}$ , к заданному выходу готовой продукции в натуре –  $H_{\text{в}}^T$ .
13. С помощью коэффициента пересчёта  $K_2^H$  получаем расход в натуре всех компонентов  $H_n^{\Phi}$  на 1 т продукции для выбранной фазы.
14. Определяем расход в СВ  $C_n^{\Phi}$  на 1 т продукции для выбранной фазы.
15. Находим  $C_{\text{и}}^{\Phi}$  – расход всех компонентов в СВ на 1 т продукции для выбранной фазы.

## 2. Обобщённое представление данных для расчёта многофазных рецептов

Наименование сырья (полуфабрикатов)	Расход сырья, кг							
	Массовая доля СВ, %	на загрузку		на 1 т фазы		на фазу для 1 т готовой продукции		в СВ
		в натуре	в СВ	в натуре	в СВ	в натуре	в СВ	
1	2	3	4	5	6	7	8	
Сырьё (полуфабрикат) 1	$S_1$	$H_1^3$	$C_1^3 = \frac{H_1^3 S_1}{100}$	$H_1^T = \frac{C_1^T \cdot 100}{S_1}$	$C_1^T = C_1^3 K^H$	$H_1^\Phi = H_1^3 K_2^\Phi$	$C_1^\Phi = \frac{H_1^\Phi S_1}{100}$	
Сырьё (полуфабрикат) 2	$S_2$	$H_2^3$	$C_2^3 = \frac{H_2^3 S_2}{100}$	$H_2^T = \frac{C_2^T \cdot 100}{S_2}$	$C_2^T = C_2^3 K^T$	$H_2^\Phi = H_2^3 K_2^\Phi$	$C_2^\Phi = \frac{H_2^\Phi S_1}{100}$	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
Сырьё (полуфабрикат) n	$S_n$	$H_n^3$	$C_n^3 = \frac{H_n^3 S_n}{100}$	$H_n^T = \frac{C_n^T \cdot 100}{S_n}$	$C_n^T = C_n^3 K^H$	$H_n^\Phi = H_n^3 K_2^\Phi$	$C_n^\Phi = \frac{H_n^\Phi S_1}{100}$	
Итого сырьё и полуфабрикаты		$H_n^3 = \sum_{i=1}^n H_i^3$	$C_n^3 = \sum_{i=1}^n C_i^3$	$H_n^T = \sum_{i=1}^n H_i^T$	$C_n^T = \frac{C_n^T \cdot 100}{100 - P^c}$	$H_n^\Phi = \sum_{i=1}^n H_i^\Phi$	$C_n^\Phi = \frac{C_n^\Phi \cdot 100}{100 - P^c}$	
Выход готового изделия (полуфабриката)	$C_n^3 \cdot 100$	$H_n^3$	$C_n^3 = \frac{C_n^3 \cdot 100}{S_n}$	$H_n^T$	$C_n^T = \frac{H_n^T S_n}{100}$	$H_n^\Phi$	$C_n^\Phi$	
Потери СВ	$P^c$							$17) \Pi_c^\Phi = \sum_{i=1}^n C_i^\Phi$
Коэффициент пересчёта 1				$9) K_1^T = \frac{C_n^T}{C_n^3}$				
Коэффициент пересчёта 2				$12) K_2^H = \frac{H_n^\Phi}{H_n^T}$				

16. Проверяем правильность расчёта сопоставлением суммы расхода всех компонентов в СВ с ранее полученным итогом затрат  $C_n^T$ . Проверяем правильность расчёта сопоставлением суммы расхода всех компонентов в СВ на фазу для 1 т готовой продукции с ранее полученным итогом затрат  $C_n^\Phi$ .

Для многофазных рецептур после расчёта всех фаз приступаем к суммированию сырья в одну сводную таблицу, где определяем расход сырья по сумме фаз (табл. 3). Графы 1 и 2 табл. 3 заполняют исходными данными по всем видам сырья и расходуемых готовых полуфабрикатов. Графы 3 и 4 заполняют данными из соответствующих граф предыдущих расчётных таблиц по строкам всех видов сырья. Данные, которые представлены только в одной фазе, переносятся из соответствующих строк.

Алгоритм окончательного расчёта многофазных рецептур в соответствии с данными табл. 3.

1. Суммируя  $H_n^\Phi$ , получаем  $H_n^\Phi$  – итог расхода сырья на загрузку в натуре.

2. Суммируя  $C_n^3$ , получаем  $C_n^3$  – итог расхода сырья на загрузку в СВ.

3. Зная содержание СВ в готовом изделии –  $S_r$  и заданный выход готовой продукции в натуре –  $H_v^T$ , определяем выход сырья на загрузку в СВ –  $C_v^\Phi$ .

4. Аналогично находим выход готового изделия в СВ  $C_v^T$ .

5. Определяем  $C_n^T$  – расход всех компонентов в СВ на приготовление 1 т готовых изделий.

6. Находим коэффициент пересчёта  $K_n$ , который находят делением найденного итога затрат (в СВ) –  $C_n^T$ , на суммарное количество СВ, рассчитанное на загрузку –  $C_n^\Phi$ .

7. С помощью коэффициента пересчёта получаем расход всех компонентов в СВ  $C_n^T$  на приготовление заданного количества готовой продукции.

8. По найденным значениям  $C_n^T$  получаем расход всех компонентов в натуре  $H_n^T$  на приготовление заданного количества готовой продукции.

9. Определяем  $H_n^T$  – итоговый расход сырья на приготовление заданного количества готовой продукции в натуре.

10. Проверяем правильность расчёта сопоставлением суммы расхода всех компонентов в СВ с ранее полученным итогом затрат  $C_n^T$ .

### 3. Обобщённое представление данных для окончательного расчёта многофазных рецептов

Наименование сырья и полуфабрикатов	Содержание СВ, %	Расход сырья			
		на загрузку (или на 1 т полуфабриката)		на заданное количество готовой продукции (полуфабриката)	
		в натуре	в СВ	в натуре	в СВ
1	2	3	4	5	6
Сырьё 1	$S_1$	$H_1^\Phi$	$C_1^\Phi$	<b>8)</b> $H_n^T = \frac{C_1^T 100}{S_1}$	<b>7)</b> $C_n^T = C_n^\Phi K_n$
Сырьё 2	$S_2$	$H_2^\Phi$	$C_2^3$	$H_2^T = \frac{C_2^T 100}{S_2}$	$C_2^T = C_2^\Phi K_n$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Сырьё $n$	$S_n$	$H_n^\Phi$	$C_n^3$	$H_n^T = \frac{C_n^T 100}{S_n}$	$C_n^T = C_n^3 K_n$
Итого сырьё		<b>1)</b> $H_n^\Phi = \sum_{i=1}^n H_i^\Phi$	<b>2)</b> $C_n^\Phi = \sum_{i=1}^n C_i^\Phi$	<b>9)</b> $H_n^T = \sum_{i=1}^n H_i^T$	<b>5)</b> $C_n^T = \frac{C_B^T 100}{100 - P^c}$
Выход готового изделия	$S_r$	$H_B^\Phi$	<b>3)</b> $C_B^\Phi = \frac{H_B^T S_r}{100}$	$H_B^T$	<b>4)</b> $C_B^T = \frac{H_B^T S_r}{100}$
Общие потери СВ	$P^c$				$\Pi^3 = \frac{C_B^T P^c}{100 - P^c}$
Коэффициент неучтённых потерь				<b>6)</b> $K_n = \frac{C_n^T}{C_n^\Phi}$	<b>10)</b> $\Pi^T = \sum_{i=1}^n C_i^T$

### **3. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ РАСЧЁТ РЕЦЕПТУР КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ**

#### **3.1. Обзор существующих автоматизированных систем для расчёта рецептур**

Существуют различные программные продукты для автоматизированного расчёта рецептур. Одной из наиболее распространённых программ для расчёта рецептур является MS Excel. При использовании этого программного продукта необходимые для вычисления данные, а также расчётные формулы заносятся в соответствующие ячейки электронной таблицы. Недостатками использования MS Excel является отсутствие возможности автоматизированного ввода входных данных и расчётных зависимостей.

Специализированный программный комплекс «Etalon» [7] предназначен для проектирования многокомпонентных рецептур продуктов общего назначения, а также специализированных продуктов, соответствующих по составу физиологическим потребностям организма с учётом возраста, патологии, физических состояний и нагрузок, окружающей среды, предназначенных для детского, диетического, функционального питания, беременных и кормящих женщин, спецконтингента.

Электронный ресурс для расчёта рационов школьного питания [9] позволяет определить общие параметры рациона питания, а также составить рацион питания школьника с учётом введения в рацион блюд из бобовых. Задание необходимых параметров эталонного продукта позволяет рассчитывать рационы профилактического назначения.

Программа «Разработка рецептур композиций из растительного сырья» [8] позволяет в соответствии с современными принципами создания здоровых продуктов питания разработать рецептуры пищевых концентратов повышенной биологической ценности на плодоовощной основе. Задание необходимых параметров эталонного продукта позволяет получить рецептуры со сбалансированным соотношением макроэлементов и обеспечивающих максимально полное удовлетворение суточной потребности человека в витаминах и минеральных веществах.

Generic 2.0 – программа Кубанского государственного технологического университета – предназначена для автоматизированного проектирования и расчёта многокомпонентных рецептур продуктов функционального питания [10].

Вышеуказанные программные продукты не учитывают специфику расчёта многофазных рецептур кондитерских изделий.

На сайте <http://ttk.telenet.ru/index.htm> представлен программный комплекс «Система расчётов для общественного питания», включающий разработку промышленных рецептур на кондитерские изделия. Недостатками комплекса являются отсутствие автономности программного обеспечения и как следствие недостаточная защита интеллектуальной собственности пользователя.

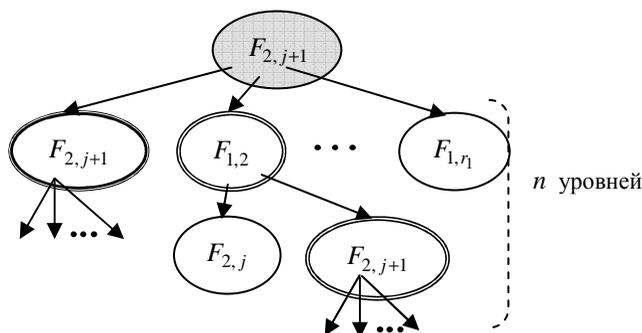
Для автоматизированного расчёта рецептов использует ERP-продукты Oracle E-Business Suite (промышленная информационная система для автоматизации управления предприятием), в частности, модуль «Управление разработкой продукции в непрерывном производстве». Эта система позволяет создавать, вести и управлять рецептурами не только отдельного завода, но и всего холдинга. Недостатками данной информационной системы является высокая стоимость, повышенные требования к уровню подготовки персонала, невозможность оперативного внедрения, дорогостоящая поддержка.

На основе анализа приведённых выше программных продуктов можно сделать вывод, что в настоящее время отсутствуют специализированные программные продукты, позволяющие спрогнозировать состав и рассчитать пищевую, энергетическую и биологическую ценность сахаристых и мучных кондитерских изделий. Для составления рецептов кондитерских изделий целесообразно использовать программный продукт, основанный на объектно-ориентированном подходе.

### **3.2. Применение объектно-ориентированного подхода для проектирования рецептов кондитерских изделий**

Под объектом понимается информационная единица, имеющая свойства, методы и операции [4]. Различия между объектами могут иметь качественный и количественный характер. На качественном уровне объекты различаются своей принадлежностью к некоторой категории, называемой «класс». При этом допустимо высказывание «объект *A* класса *B*» или «объекты *A*, *B* и *C* класса *D*». При этом недопустимо сравнение типа «объект *A* класса *B* равен объекту *C* класса *D*?». Считается, что объекты качественно разные, если они относятся к разным классам. Между объектами одного класса могут действовать любые операции, входящие в состав класса. Например, запись  $C = A + B$  формально подразумевает, что *A*, *B*, *C* – объекты одного класса и в этом классе определена операция «+». Отличительной особенностью объектно-ориентированного подхода в данном случае является представление рецептуры в виде дерева, как показано на рис. 1.

Каждая из вершин дерева рецептуры представляет собой объект  $F_{i,j}$ , где *i* – номер уровня иерархии,  $i = 1..n$ ; *j* – номер объекта на *i*-ом уровне иерархии,  $j = 1..n_i$ . Полагается, что каждый уровень иерархии может иметь своё, индивидуальное число вершин. На рисунке 1 можно заметить различия в объектах – объект  $F_0$  (на сером фоне) представляет собой готовое изделие, полупродукты имеют двойную границу, сырьевые компоненты – одинарную. Объекты, связанные с сырьевыми компонентами не могут иметь ветвлений. Объект  $F_0$  отличается от всех остальных объектов ( $F_{i,j}$ ) по своему составу. Объекты  $F_{i,j}$  имеют одинаковый состав.



**Рис. 1. Древоподобная структура рецепта продукта питания**

Рассмотрим подробно состав объектов. Состав объекта  $F_0$  можно представить в виде табл. 4.

#### 4. Состав объекта «Готовое изделие»

Объект $F_0$ (готовое изделие)		Методы
Свойства		Расчёт рецептуры – функция $C(F)$ ;
Дерево рецептуры $F = \{F_{ij}\}, i = 1..n, j = 1..r_i$		
Иерархия таблиц рецептов полуфабрикатов $T = \{T_{ij}\}, i = 1..n; j = 1..p_i$		
Сводная таблица рецептуры $S$		
Нутриентный состав	Белки $b$	
	Жиры $z$	
	Углеводы $u$	
	Энергетическая ценность $e$	
<p><i>Примечание:</i> ячейки, выделенные двойной границей, являются входными данными для расчёта.</p>		

Основным достоинством методики является возможность наследования свойств и методов совместно с добавлением новых расчётных формул, учитывающих особенности производства, экономические показатели процессов, протекающих в аппаратах технологической схемы производства кондитерских изделий. Объектно-ориентированный подход реализован в программе «Multifaz».

### 3.3. Руководство пользователя программы Multifaz

Программа Multifaz предназначена для расчёта многофазных рецептов кондитерских изделий. Рецептура может быть создана, сохранена и отредактирована. Предусмотрен вывод пофазной рецептуры на печать. Операционная система – Windows 98, 2000 XP, Vista, 7, язык – русский, в системе должен быть установлен браузер, например Internet Explorer для вывода рецептов на печать.

Программа представлена следующими файлами, которые должны находиться в одной директории: multifaz.exe – собственно программа; help.htm – данный файл (руководство пользователя); derevo.xml – текущая рецептура; index.htm – рецептура для вывода на печать; names – база данных компонентов рецептур.

Для создания новой рецептуры необходимо (рис. 2): 1) набить название готового изделия; 2) нажать кнопку «Принять имя изделия». Появляется следующее окно, фрагмент которого показан на рис. 3.

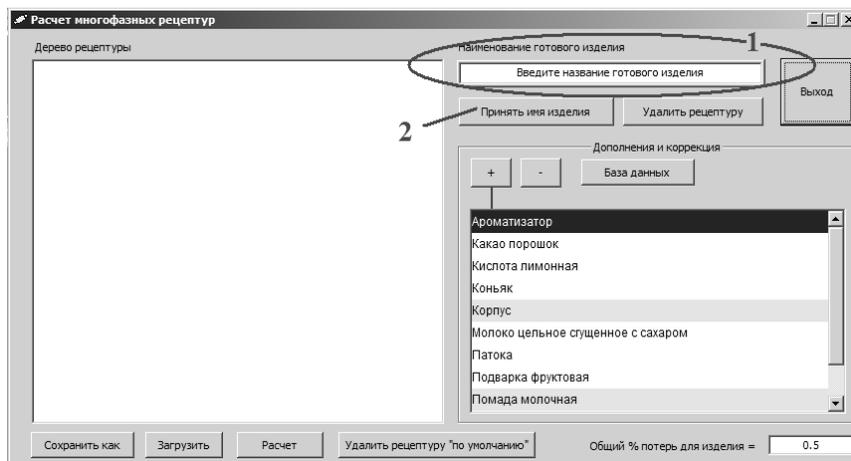


Рис. 2. Интерфейс программы Multifaz

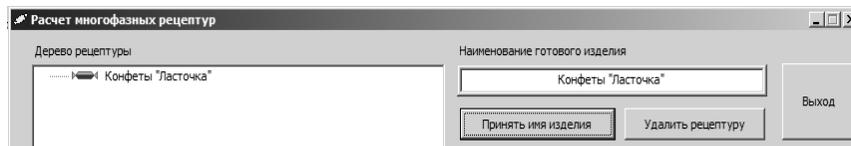
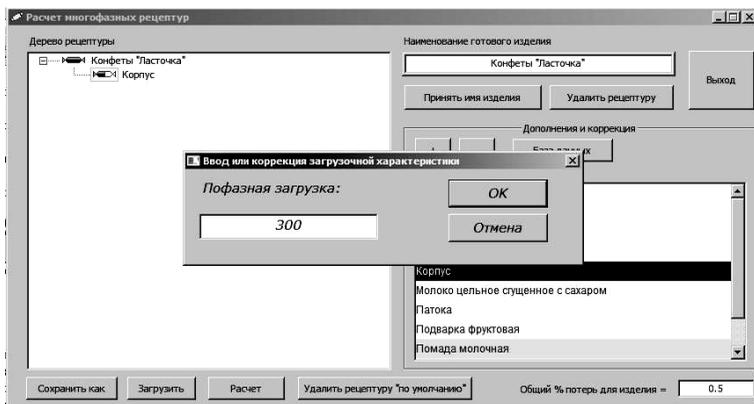


Рис. 3. Создание новой рецептуры

Далее необходимо сформировать рецептуру, пользуясь списком компонентов. Для добавления компонента надо выделить элемент рецептуры в дереве рецептуры; выбрать, щёлкнув левой кнопкой мыши (ЛКМ) компонент, а затем нажать кнопку «+». В любой момент можно удалить вершину дерева, нажав кнопку «-». При этом удаляется всё поддерево, начиная с выбранной вершины. Также в любой момент можно изменить наименование готового изделия: набить новое наименование и нажать кнопку «Принять имя изделия». Необходимо учесть, что в списке компонентов полуфабрикаты помечены оранжевым фоном.

После того, как дерево рецептуры определено, необходимо задать грузочные характеристики для компонентов. Для этого ЛКМ компонента сначала выделяется в дереве рецептуры, а затем нажатием правой кнопки мыши (ПКМ) открывается окно, в котором необходимо указать грузочную характеристику (рис. 4). Для полуфабрикатов – потери на 1 т полуфабриката, для сырьевого ингредиента – вес ингредиента в полуфабрикate или готовом изделии.



**Рис. 4. Ввод или коррекция грузочной характеристики**

Следует учесть, что расчёт рецептуры невозможен, пока не будут заданы грузочные характеристики для каждого компонента рецептуры. Для коррекции базы данных рецептурных ингредиентов необходимо нажать кнопку «База данных». Появляется окно, изображенное на рис. 5.

В графе «Грузочная характеристика» для сырьевого компонента указывается процентное содержание сухих веществ, а для полуфабрикатов – коэффициент потерь. Перед началом расчёта необходимо уточнить общие потери веса готового изделия (по умолчанию 0.5). Расчёт производится по нажатию кнопки «Расчёт», после чего открывается окно браузера, в котором отображаются расчётные таблицы по фазам рецептуры, и окончательная – в унифицированной форме.

Общая коррекция списка сырья и полуфабрикатов							
Файл Редактирование							
Список рецептурных компонент							
	Наименование	Сырье/Полуфа...	Загр. х-ка	Белки	Жиры	Углеводы	Эн. ценн...
1	Ароматизатор	<input checked="" type="checkbox"/> Сырье	-0.25	0	0	0.26	90
2	Какао порошок	<input checked="" type="checkbox"/> Сырье	95	25.6	14	29.6	364
3	Кислота лимонная	<input checked="" type="checkbox"/> Сырье	91.2	0	0	0	0
4	Коньяк	<input checked="" type="checkbox"/> Сырье	-0.25	0	0	1.5	239
5	Корпус	<input type="checkbox"/> Полупродукт	0.7	0	0	0	0
6	Молоко цельное сгущенное с сахаром	<input checked="" type="checkbox"/> Сырье	74	7.1	5	55.2	295
7	Патока	<input checked="" type="checkbox"/> Сырье	78	0	0.3	77.4	307
8	Подварка фруктовая	<input checked="" type="checkbox"/> Сырье	69	0.4	0.1	66.3	268
9	Помеда молочная	<input type="checkbox"/> Полупродукт	0.9	0	0	0	0
10	Сахар-песок	<input checked="" type="checkbox"/> Сырье	99.85	0	0	99.8	379
11	Шоколадная глазурь	<input checked="" type="checkbox"/> Сырье	99.1	4.8	35.4	53.5	545

Рис. 5. Коррекция базы данных рецептурных ингредиентов

После изучения руководства пользователя программы «Multifaz» студентам предлагается рассчитать однофазную и многофазную рецептуры кондитерских изделий с использованием MS Excel и программы Multifaz и сравнить полученные расчёты. Конкретные задания студентам предлагается выбрать самостоятельно из справочника рецептур кондитерских изделий.

### 3.4. Оптимизация рецептурного состава кондитерских изделий

Важными задачами контроля качества рецептурных смесей являются вопросы максимизации биологической и минимизации энергетической ценности готового продукта. Для постановки задачи оптимизации рецептурного состава необходимо иметь следующую информацию: перечень всех видов сырья и материалов, которые могут войти в состав определяемой смеси; качественные характеристики каждого вида сырья, т.е. содержание учитываемых питательных элементов или других характеристик; требования к определяемой смеси с точки зрения содержания питательных веществ (или наличия в ней) и других характеристик: стоимость единицы каждого вида используемого сырья; допустимые границы или соотношения участия каждого вида сырья в ископаемой смеси; наличия каждого вида сырья.

Рассмотрим примеры решения задач оптимизации рецептур кондитерских изделий в соответствии с критериями минимизации энергетической ценности и себестоимости продукции и максимизации биологической ценности с учётом заданных ограничений.

**Задача 1.** Разработать рецептуру полуфабриката – помадной массы – с минимальной себестоимостью, содержащей не менее 90% СВ, в том числе не более 70% сахарозы и не более 20% жиров, Перечень рецептурных ингредиентов, содержание сахарозы, жиров, сухих веществ в них и стоимость каждого вида сырья указаны в табл. 5.

**5. Содержание питательных веществ в различных видах сырья (в %),  
стоимость единицы сырья, пределы содержания  
рецептурных ингредиентов**

Рецептурные ингредиенты (РИ)	Диапазон варьирувания РИ, %	Содержание СВ РИ, %	Состав РИ			Стоимость РИ, р./кг
			белки	жиры	углеводы	
Сахар-песок	40 ... 90	99,85	0	0	99,8	26,4
Патока крахмальная	5 ... 10	78,0	0	0,3	77,4	13,6
Жир кондитерский	0 ... 10	99,7	0	99,7	0	50
Масло сливочное	0 ... 12	80,0	0,5	82,5	0,8	150
Молоко сгущённое с сахаром, жирность 8,5%	0 ... 40	66,6	7,2	8,5	55,5	58
Молоко сгущённое с сахаром, жирность 5%	0 ... 40	66,8	7,1	5,0	55,2	35
Молоко сгущённое стерилизованное 7,8%	0 ... 20	20,0	6,4	7,8	10,3	40

Обозначим через  $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7$  соответственно искомый удельный вес включения в состав продукта каждого вида сырья. Тогда задачу можно записать в следующем виде: найти искомые значения  $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7$ , при которых  $F(x) = \min\{26,4x_1 + 13,6x_2 + 50x_3 + 150x_4 + 58x_5 + 35x_6 + 40x_7\}$  при соблюдении следующих условий: 1)  $99,85x_1 + 78x_2 + 99,7x_3 + 80x_4 + 66,6x_5 + 66,8x_6 + 20x_7 \geq 0,9$  (наличие в вырабатываемом изделии СВ не более 90%); 2)  $99,8x_1 + 74,4x_2 + 0,8x_4 + 55,5x_5 + 55,2x_6 + 10,3x_7 \leq 0,7$  (наличие в вырабатываемом продукте не более 70% сахарозы); 3)  $0,3x_2 + 99,8x_3 + 82,5x_4 + 8,5x_5 + 5x_6 + 7,8x_7 \leq 0,3$  (наличие в вырабатываемом продукте не более 30% жиров); 4)  $x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 = 1$  (получение единицы продукта); 5)  $x_1 > 0,4; x_2 > 0,05; x_3 > 0; x_4 > 0; x_5 > 0; x_6 > 0; x_7 > 0$  (задание нижних ограничений на переменных); 6)  $x_1 < 0,9; x_2 < 0,1; x_3 < 0,1; x_4 < 0,12; x_5 < 0,4; x_6 < 0,4; x_7 < 0,4$  (задание верхних ограничений на переменных).

Приведённая задача является задачей линейного программирования, решение которой определит удельный вес участия каждого вида сырья в производстве единицы искомого продукта при обеспечении минимальной стоимости его выработки.

Решить поставленную задачу можно с использованием встроенной в MatLab функции linprog [5]. Первым аргументом linprog всегда является  $f$  – вектор коэффициентов целевой функции  $F(x)$ , далее задаются матрица  $A$ , содержащая значения коэффициентов левой части ограничений в виде неравенств и вектор  $b$ , содержащий соответствующие значения правой части ограничений. При наличии ограничений в виде равенств дополни-

тельными аргументами могут быть  $A_{eq}$  и  $b_{eq}$ , наконец, двусторонние ограничения являются шестым и седьмым аргументами `linprog`. Приведём листинг программы решения задачи 1 с использованием функции `linprog`:

% Определение коэффициентов целевой функции

f = [26.4; 13.6; 50; 150; 58; 35; 40];

% Задание матрицы A и вектора b правой части системы неравенств

A = [-99.85 -78 -99.7 -80 -66.6 -66.8 -20;

99.8 74.4 0 0.8 55.5 55.2 10.3;

0 0.3 99.8 82.5 8.5 5 7.8];

b = [-90; 70; 20];

% Задание ограничений типа равенств

Aeq=[1 1 1 1 1 1 1];

b eq=[1];

% Задание ограничений снизу на переменные

lb=[0.4; 0.05; 0; 0; 0; 0; 0];

% Задание ограничений сверху на переменные

rb=[0.9; 0.1; 0.1; 0.12; 0.4; 0.4; 0.4];

% Решение и вывод результата в командное окно

x = linprog(f, A, b, Aeq, b eq, lb, rb)

Результаты расчета программы:  $x_1 = 0,5301$ ;  $x_2 = 0,1$ ;  $x_3 = 0,1$ ;  $x_4 = 0,0963$ ;  $x_5 = 0$ ;  $x_6 = 0,1736$ ;  $x_7 = 0$ .

Таким образом, для получения изделия, содержащего сахарозы не более 70%, жиров не более 30%, СВ не менее 90% необходимо в его состав включить 53,01% сахара, 10 % патоки, 10% жира, 9,63% масла и 17,36% молока сгущённого с сахаром жирностью 5%. При этом минимальная стоимость составит 40,88 р. кг.

**Задача 2.** Рассчитать рецептуру глазированных жележных конфет с минимальной энергетической ценностью. В качестве сахаросодержащего сырья можно использовать: сахар-песок, фруктозу, сорбит, глюкозо-фруктозный сироп. При этом стоимость готового изделия не должна превышать 70 р./кг. Данные для расчёта представлены в табл. 6 – 9.

## 6. Исходные данные для расчёта первой рецептуры

Рецептурные ингредиенты (РИ)	Диапазон варьирования РИ, %	Содержание СВ РИ, %	Энергетическая ценность	Стоимость РИ, р./кг
Сахар-песок	50 ... 65	99,85	379,0	26,4
Патока крахмальная	15 ... 30	78,00	307	34
Пектин цитрусовый	1 ... 4	92,00	43	450
Цитрат натрия	1,0 ... 1,5	96,00	0	60
Лимонная кислота	0,3 ... 1	98,00	0	50
Шоколадная глазурь	20 ... 25	99,10	540,1	165

Обозначим через  $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$  соответственно искомым удельный вес включения в состав продукта каждого вида сырья. Требуется найти искомые значения  $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$ , при которых  $F(x) = \min\{379x_1 + 307x_2 + 43x_3 + 540,1x_6\}$  при соблюдении следующих условий: 1)  $99,85x_1 + 78x_2 + 92x_3 + 96x_4 + 98x_5 + 99,1x_6 \geq 75$  (наличие в вырабатываемой рецептуре СВ не менее 75%); 2)  $26,4x_1 + 34x_2 + 450x_3 + 60x_4 + 50x_5 + 165x_6 \leq 70$  (стоимости готового изделия не более 70 руб./кг); 3)  $x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 = 1$  (получение единицы продукта); 4)  $x_1 \geq 0,5; x_2 \geq 0,15; x_3 \geq 0,01; x_4 \geq 0,01; x_5 \geq 0,003; x_6 \geq 0,2$  (задание нижних ограничений на переменные); 5)  $x_1 \leq 0,65; x_2 \leq 0,3; x_3 \leq 0,04; x_4 \leq 0,015; x_5 \leq 0,01; x_6 \leq 0,25$  (задание верхних ограничений на переменные).

Для решения поставленной задачи воспользуемся встроенной в Mat-Lab функцией `linprog`. Приведём текст соответствующей программы для расчёта первой рецептуры:

% Определение коэффициентов целевой функции

f = [379; 307; 43; 0; 0; 540.1];

% Задание матрицы A и вектора b правой части системы неравенств

A = [-99.85 -78 -92 -96 -98 -99.1;

26.4 34 450 60 50 165];

b = [-75; 70];

% Задание ограничений типа равенств

Aeq=[1 1 1 1 1 1];

beq=[1];

% Задание ограничений снизу на переменные

lb=[0.5; 0.15; 0.01; 0.01; 0.003; 0.2];

% Задание ограничений сверху на переменные

rb=[0.65; 0.3; 0.04; 0.015; 0.01; 0.25];

% Решение и вывод результата в командное окно

x = linprog(f, A, b, Aeq, beq, lb, rb)

Результаты расчёта программы:  $x_1 = 0,5; x_2 = 0,2436; x_3 = 0,0314; x_4 = 0,015; x_5 = 0,01; x_6 = 0,2$ .

Энергетическая ценность при стоимости изделия 70 р./кг составит 373,6633 ккал. Для приготовления рецептуры в её состав необходимо включить 50% сахара, 24% патоки, 3% пектина цитрусового, 1,5% цитрата натрия, 1% лимонной кислоты и 20% шоколадной глазури.

Требуется найти искомые значения  $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7$ , при которых  $F(x) = \min\{379x_1 + 92x_2 + 307x_3 + 43x_4 + 540,1x_7\}$ , при соблюдении следующих условий: 1)  $99,85x_1 + 97,2x_2 + 78x_3 + 92x_4 + 96x_5 + 98x_6 + 99,1x_7 \geq 0,75$  (наличие в вырабатываемой рецептуре СВ не менее 75%); 2)  $26,4x_1 + 100x_2 + 34x_3 + 450x_4 + 50x_5 + 60x_6 + 165x_7 \leq 70$  (стоимости готового изделия не более 70 р./кг); 3)  $x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 = 1$  (получение единицы продукта); 4)  $x_1 \geq 0,3; x_2 \geq 0,1; x_3 \geq 0,15; x_4 \geq 0,01; x_5 \geq 0,01; x_6 \geq 0,003; x_7 \geq 0,2$  (задание нижних ограничений на переменных); 5)  $x_1 \leq 0,65; x_2 \leq 0,2; x_3 \leq 0,3; x_4 \leq 0,04; x_5 \leq 0,015; x_6 \leq 0,01; x_7 \leq 0,25$  (задание верхних ограничений на переменных).

## 7. Исходные данные для расчёта второй рецептуры

Рецептурные ингредиенты (РИ)	Диапазон варьирования РИ, %	Содержание СВ РИ, %	Энергетическая ценность	Стоимость РИ, р./кг
Сахар-песок	30 ... 65	99,85	379,0	26,4
Фруктоза	10 ... 20	97,20	92,0	100
Патока крахмальная	15 ... 30	78,00	307	34
Пектин цитрусовый	1 ... 4	92,00	43	450
Цитрат натрия	1,0 ... 1,5	96,00	0	50
Лимонная кислота	0,3... 1	98,00	0	60
Шоколадная глазурь	20 ... 25	99,10	540,1	165

В результате расчёта программы, составленной с использованием встроенной в MatLab функцией `linprog`, было получено:  $x_1 = 0,3478$ ;  $x_2 = 0,1172$ ;  $x_3 = 0,3$ ;  $x_4 = 0,01$ ;  $x_5 = 0,015$ ;  $x_6 = 0,01$ ;  $x_7 = 0,2$ .

Энергетическая ценность при стоимости изделия 70 р./кг составит 343,1561 ккал. Для приготовления рецептуры в её состав необходимо включить 35% сахара, 12% фруктозы, 30% патоки, 1% пектина цитрусового, 1,5% цитрата натрия, 1% лимонной кислоты и 20% шоколадной глазури.

## 8. Исходные данные для расчёта третьей рецептуры

Рецептурные ингредиенты (РИ)	Диапазон варьирования РИ, %	Содержание СВ РИ, %	Энергетическая ценность	Стоимость РИ, р./кг
Сахар-песок	10 ... 65	99,85	379,0	26,4
Сорбит	15 ... 50	78,00	367	35
Глюкозо-фруктозный сироп	25 ... 50	76,00	304	11,4
Пектин цитрусовый	1 ... 4	92,00	43	450
Цитрат натрия	1,0 ... 1,5	96,00	0	50
Лимонная кислота	0,3... 1	98,00	0	60
Шоколадная глазурь	20 ... 25	99,10	540,1	165

Требуется найти искомые значения  $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7$ , при которых  $F(x) = \min\{379x_1 + 367x_2 + 304x_3 + 43x_4 + 540,1x_7\}$  при соблюдении следующих условий: 1)  $99,85x_1 + 95x_2 + 76x_3 + 92x_4 + 96x_5 + 98x_6 + 99,1x_7 \geq 0,75$  (наличие в вырабатываемой рецептуре сухих веществ не менее 75%); 2)  $26,4x_1 + 35x_2 + 11,4x_3 + 450x_4 + 50x_5 + 60x_6 + 165x_7 \leq 70$  (стоимости готового изделия не более 70 руб./кг); 3)  $x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 = 1$  (получение единицы продукта); 4)  $x_1 \geq 0,1$ ;  $x_2 \geq 0,15$ ;  $x_3 \geq 0,25$ ;  $x_4 \geq 0,01$ ;  $x_5 \geq 0,01$ ;  $x_6 \geq 0,003$ ;  $x_7 \geq 0,2$  (задание нижних ограничений на переменные);

5)  $x_1 \leq 0,65$ ;  $x_2 \leq 0,5$ ;  $x_3 \leq 0,5$ ;  $x_4 \leq 0,04$ ;  $x_5 \leq 0,015$ ;  $x_6 \leq 0,1$ ;  $x_7 \leq 0,25$  (задание верхних ограничений на переменные).

В результате расчёта программы получилось:  $x_1 = 0,1$ ;  $x_2 = 0,15$ ;  $x_3 = 0,485$ ;  $x_4 = 0,04$ ;  $x_5 = 0,015$ ;  $x_6 = 0,01$ ;  $x_7 = 0,2$ .

Энергетическая ценность при стоимости изделия 65,77 р./кг составит 350,13 ккал. Для приготовления рецептуры в её состав необходимо включить 10% сахара, 15% сорбита, 48,5% глюкозо-фруктозного сиропа, 4% пектина цитрусового, 1,5% цитрата натрия, 1% лимонной кислоты и 20% шоколадной глазури.

## 9. Исходные данные для расчёта четвёртой рецептуры

Рецептурные ингредиенты (РИ)	Диапазон варьирования РИ, %	Содержание СВ РИ, %	Энергетическая ценность	Стоимость РИ, р./кг
Фруктоза	10 ... 65	99,50	92	100
Сорбит	15 ... 50	95,00	367	35
Глюкозо-фруктозный сироп	25 ... 50	76,00	304	11,4
Пектин цитрусовый	1 ... 4	92,00	43	450
Цитрат натрия	1,0 ... 1,5	96,00	0	50
Лимонная кислота	0,3... 1	98,00	0	60
Шоколадная глазурь	20 ... 25	99,10	540,1	165

Требуется найти искомые значения  $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7$ , при которых  $F(x) = \min\{92x_1+367x_2+304x_3+43x_4+540,1x_7\}$  при соблюдении следующих условий: 1)  $99,5x_1+95x_2+76x_3+92x_4+96x_5+98x_6+99,1x_7 \geq 0,75$  (наличие в вырабатываемой рецептуре СВ не менее 75%); 2)  $100x_1 + 35x_2 + 11,4x_3 + 450x_4 + 50x_5 + 60x_6+165x_7 \leq 70$  (стоимости готового изделия не более 70 р./кг); 3)  $x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 = 1$  (получение единицы продукта); 4)  $x_1 \geq 0,1$ ;  $x_2 \geq 0,15$ ;  $x_3 \geq 0,25$ ;  $x_4 \geq 0,01$ ;  $x_5 \geq 0,01$ ;  $x_6 \geq 0,003$ ;  $x_7 \geq 0,2$  (задание нижних ограничений на переменных); 5)  $x_1 \leq 0,65$ ;  $x_2 \leq 0,5$ ;  $x_3 \leq 0,5$ ;  $x_4 \leq 0,04$ ;  $x_5 \leq 0,015$ ;  $x_6 \leq 0,01$ ;  $x_7 \leq 0,25$  (задание верхних ограничений на переменные).

В результате расчёта получилось:  $x_1=0,2132$ ;  $x_2 = 0,15$ ;  $x_3 =0,4018$ ;  $x_4 = 0,01$ ;  $x_5 = 0,015$ ;  $x_6 = 0,01$ ;  $x_7 = 0,2$ .

Энергетическая ценность при стоимости изделия 70 р./кг составит 305,2628 ккал. Для приготовления рецептуры в её состав необходимо включить 21% фруктозы, 15% сорбита, 40% глюкозо-фруктозного сиропа, 1% пектина цитрусового, 1,5% цитрата натрия, 1% лимонной кислоты и 20% шоколадной глазури.

Таким образом, оптимальной рецептурой с наименьшей энергетической ценностью является четвёртая рецептура.

**Задача 3.** Разработать рецептуру медовых паст с максимальной биологической ценностью и с содержанием макро- и микроэлементов и витаминов: Na не менее 50 мг, K – не менее 500 мг, Ca – не менее 100 мг, Mg – не менее 100 мг, P – не менее 100 мг, Fe – не менее 20 мг, каротин – не менее 500 мг, B<sub>1</sub> – не менее 0,5 мг, B<sub>2</sub> – не менее 0,1 мг и C – не менее 1 мг. Содержание СВ в каждом виде сырья указано в табл. 10, а биологическая ценность рецептурных ингредиентов – в табл. 11.

### 10. Варианты рецептурных композиций паст на основе мёда

Рецептурные ингредиенты (РИ)	Возможный диапазон варьирования РИ, %	Содержание СВ РИ, %
Ядро арахиса	0 ... 25	92,1
Изюм	0 ... 10	82
Семена тыквы	0 ... 25	95,5
Чернослив	0 ... 12	75
Курага	0 ... 15	80
Мёд пчелиный	50...90	82,6

### 11. Биологическая ценность рецептурных ингредиентов медовых паст

Перечень витаминов, макро- и микроэлементов	Количество витаминов, макро- и микроэлементов, входящих в состав рецептурных ингредиентов медовых паст (мг/100 г)					
	ядро арахиса	изюм	семена тыквы	чернослив	курага	мёд
Na	23,0	117	157	10	17	10
K	658	830	634	864	1717	36
Ca	76	83	360	80	160	14
Mg	182	42	311	102	106	3
P	350	129	520	83	146	18
Fe	5	3	60	3	32	0,8
Каротин	0	35	3	60	3500	0
B <sub>1</sub>	0,74	0,15	1,8	0,02	0,1	0,01
B <sub>2</sub>	0,11	0,06	0,2	0,1	0,2	0,03
C	5,3	0	0	3	4	0
Итого	1300,15	1239,21	2047	1205,12	5682,3	81,84

Требуется найти искомые значения  $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$  при которых  $F(x) = \max\{1300,15x_1 + 1239,21x_2 + 2047x_3 + 1205,12x_4 + 5682,12x_5 + 81,84x_6\}$  при соблюдении следующих условий: 1)  $92,1x_1 + 82x_2 + 95,5x_3 + 75x_4 + 80x_5 + 82,6x_6 \geq 0,75$  (наличие в вырабатываемой рецептуре СВ не

менее 75%); 2)  $23x_1 + 117x_2 + 157x_3 + 10x_4 + 17x_5 + 10x_6 \geq 50$  (содержание Na не менее 50); 3)  $658x_1 + 830x_2 + 634x_3 + 864x_4 + 1717x_5 + 36x_6 \geq 500$  (содержание K не менее 500); 4)  $76x_1 + 83x_2 + 360x_3 + 80x_4 + 160x_5 + 14x_6 \geq 100$  (содержания Ca не менее 100); 5)  $182x_1 + 42x_2 + 311x_3 + 102x_4 + 106x_5 + 3x_6 \geq 100$  (содержание Mg не менее 100); 6)  $350x_1 + 129x_2 + 520x_3 + 83x_4 + 146x_5 + 18x_6 \geq 100$  (содержания P не менее 100); 7)  $5x_1 + 3x_2 + 60x_3 + 3x_4 + 32x_5 + 0,8x_6 \geq 20$  (содержания Fe не менее 20); 8)  $35x_2 + 3x_3 + 60x_4 + 3500x_5 \geq 100$  (содержания каротина не менее 500); 9)  $0,74x_1 + 0,15x_2 + 1,8x_3 + 0,02x_4 + 0,1x_5 + 0,01x_6 \geq 0,5$  (содержания  $B_1$  не менее 0,5); 10)  $0,11x_1 + 0,06x_2 + 0,2x_3 + 0,1x_4 + 0,2x_5 + 0,03x_6 \geq 100$  (содержания  $B_2$  не менее 0,1); 11)  $5,3x_1 + 3x_4 + 4x_5 \geq 100$  (содержания C не менее 1); 12)  $x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 = 1$  (получения единицы продукта); 13)  $x_1 \geq 0$ ;  $x_2 \geq 0$ ;  $x_3 \geq 0$ ;  $x_4 \geq 0$ ;  $x_5 \geq 0$ ;  $x_6 \geq 5$  (задания нижних ограничений на переменных); 14)  $x_1 \leq 25$ ;  $x_2 \leq 10$ ;  $x_3 \leq 25$ ;  $x_4 \leq 12$ ;  $x_5 \leq 15$ ;  $x_6 \leq 90$  (задания верхних ограничений на переменных).

В результате расчёта программы, составленной аналогично предыдущим задачам, были найдены следующие значения:  $x_1 = 0,0904$ ;  $x_2 = 0,0096$ ;  $x_3 = 0,25$ ;  $x_4 = 0$ ;  $x_5 = 0,15$ ;  $x_6 = 0,5$ .

Для получения медовой пасты с максимальной пищевой ценностью необходимо в её состав включить 9,04% арахиса, 0,96% изюма, 25% семян тыквы, 15% кураги и 50% мёда. При этом максимальная пищевая ценность составит 1534,4.

Таким образом, использование встроенной в MatLab функции `linprog` позволяет решать некоторые задачи оптимизации рецептурного состава. Для решения задач оптимизации органолептических показателей целесообразно использовать аппарат нечёткого моделирования.

#### **4. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА НЕЧЁТКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ И ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ**

Проектирование пищевых продуктов – это процесс создания рациональных рецептур и/или соответствующих структурных свойств, способных обеспечить высокий уровень адекватности пищевого продукта требованиям потребителя. При проектировании многокомпонентных промышленных пищевых продуктов большое значение имеет возможность моделирования потребительских характеристик готовых изделий, прогнозирования их биологической безопасности, качества и функционально-технологических свойств с учётом явления синергизма. Среди работ, посвящённых математическому моделированию рецептур и технологических режимов приготовления продуктов питания [6–7], наряду с традици-

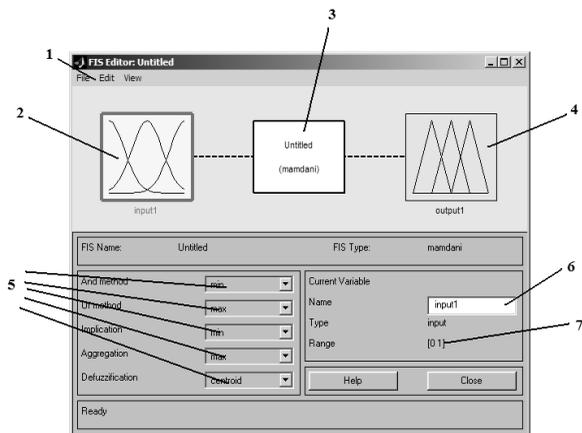
онными регрессионными моделями, используется современный математический аппарат нейронных сетей [8] и систем с нечётким выводом [9]. Неоспоримым преимуществом систем с нечётким выводом является так же то, что математический аппарат нечёткой логики позволяет осуществлять анализ в том случае, если оценка исходных экспериментальных данных не может быть представлена в явной числовой форме и носит субъективный характер.

Применение систем нечёткого вывода состоит из ряда процедур подготовки и обработки данных [9]: 1) планирование и постановка экспериментальных исследований; 2) обработка массива экспериментальных данных для формулирования правил работы системы. На данном этапе может быть использована программа Clustering, входящая в пакет MatLab, которая обеспечивает кластеризацию набора экспериментальных данных с выявлением чётких кластеров, используемых для формулировки правил функционирования системы; 3) построение системы с использованием модуля Fuzzy Logic Toolbox, входящего в пакет MatLab; 4) использование построенной системы для проектирования новых рецептов пищевых продуктов. Математически функционирование экспертной системы на основе нечёткого вывода состоит из четырёх основных этапов: фаззификации исходных данных, вычисления значений истинности для предпосылок каждого из предикатных правил; композиция нечётких подмножеств, назначенных для каждой входной переменной; приведение к чёткости (дефаззификация) в случае необходимости получения числового ответа. Преимущества использования систем с нечётким логическим выводом особенно ярко проявляются при проектировании рецептов многокомпонентных пищевых продуктов, качество которых оценивается по результатам сенсорного анализа. Накапливается опыт использования аппарата нечёткой логики для определения оптимального соотношения рецептурных ингредиентов в комбинированных молочных и мясных продуктах, хлебобулочных и кондитерских изделиях.

Рассмотрим алгоритм построения системы нечёткого логического вывода с использованием модуля Fuzzy Logic Toolbox, входящего в пакет MatLab. Необходимо смоделировать зависимость качества готового продукта от концентрации и размера частиц ингредиентов при изготовлении помадно-желейных конфет. Построение системы проводилось на основе экспериментальных данных и сенсорного анализа изготовленных образцов конфет.

1. Для загрузки основного fis-редактора печатаем слово **fuzzy** в командной строке. После этого откроется нового графическое окно, показанное на рис. 6.

2. Добавим вторую входную переменную. Для этого в меню **Edit** выбираем команду **Add input**.



**Рис. 6. Окно редактора FIS-Editor**

1 – меню, позволяющее загружать, сохранять и редактировать системы нечёткого вывода; 2 – процессор нечётких правил; 3 – входная лингвистическая переменная; 4 – входная лингвистическая переменная; 5 – меню установки параметров нечёткой системы; 6 – имя текущей переменной; 7 – диапазон изменения текущей переменной

3. Переименуем первую входную переменную. Для этого сделаем один щелчок левой кнопкой мыши на блоке **input1**, введём новое обозначение для концентрации рецептурных ингредиента «**concentration**» в поле редактирования имени текущей переменной и нажмём <Enter>. Все вводимые имена переменных и термов должны обозначаться латинскими буквами.

4. Переименуем вторую входную переменную. Для этого сделаем один щелчок левой кнопкой мыши на блоке **input2**, введём новое обозначение для размера частиц «**razmer\_chastic**» в поле редактирования имени текущей переменной и нажмём <Enter>.

5. Переименуем выходную переменную. Для этого сделаем один щелчок левой кнопкой мыши на блоке **output1**, введём новое обозначение для оценки органолептических показателей «**organoleptica**» в поле редактирования имени текущей переменной и нажмём <Enter>.

6. Зададим имя системы. Для этого в меню **File** выбираем в подменю **Export** команду **To disk** и вводим имя файла, например, «**organoleptica**».

7. Перейдём в редактор функций принадлежности. Для этого сделаем двойной щелчок левой кнопкой мыши на блоке «**razmer\_chastic**».

8. Зададим диапазон изменения переменной «**razmer\_chastic**». Для этого напечатаем – **0.08 0.5** в поле **Range** (рис. 7) и нажмём <Enter>.

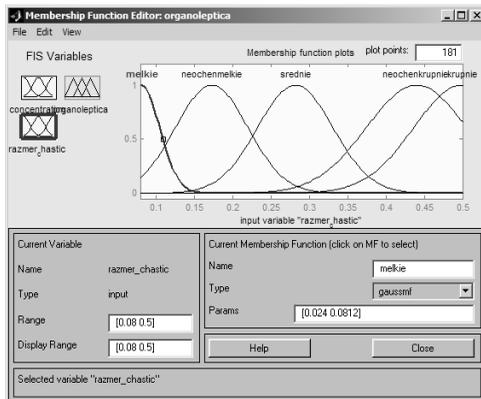


Рис. 7. Функции принадлежности переменной «razmer\_chastic»

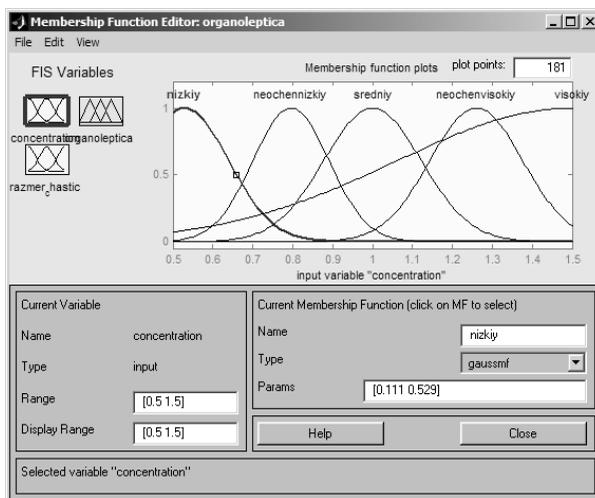
9. Зададим функции принадлежности переменной «razmer\_chastic». Для лингвистической оценки этой переменной будем использовать 5 термов с симметричными гауссовскими функциями принадлежности. Для этого в меню **Edit** выберем команду **Add MFs**. В результате появится диалоговое окно выбора типа и количества функций принадлежности. Выбираем тип функции принадлежности **gausmf**, количество – 5, нажимаем **<Enter>**.

10. Зададим наименования термов переменной «razmer\_chastic». Для этого делаем один щелчок левой кнопкой мыши по графику первой функции принадлежности (см. рис. 8). Затем вводим наименование терма в поле **Name** для мелких частиц, например, «melkie» и нажимаем **<Enter>**. Затем делаем один щелчок левой кнопкой мыши по графику второй функции принадлежности и вводим наименование терма в поле **Name** для не очень мелких частиц, например, «neochenmelkie» и нажимаем **<Enter>**. Ещё раз делаем один щелчок левой кнопкой мыши по графикам третьей, четвертой и пятой функциям принадлежности и вводим наименование термов для средних, не очень крупных и крупных частиц, например, «srednie», «neochenkrupnie» и «krupnie». В результате получим графическое окно, изображённое на рис. 7.

11. Зададим функции принадлежности переменной «concentration». Для лингвистической оценки этой переменной также будем использовать 5 термов с гауссовскими функциями принадлежности. Для этого активизируем переменную «concentration» с помощью щелчка левой кнопки мыши на блоке «concentration». Зададим диапазон изменения переменной «concentration». Для этого напечатаем **0.5 1.5** в поле **Range** (см. рис. 9) и нажмем **<Enter>**. Затем в меню **Edit** выберем команду **Add MFs**. В появившемся диалоговом окне выбираем тип функции принадлежности

**gaussmf** в поле **MF type** и **5** термов в поле **Number of MFs**. После этого нажимаем **<Enter>**.

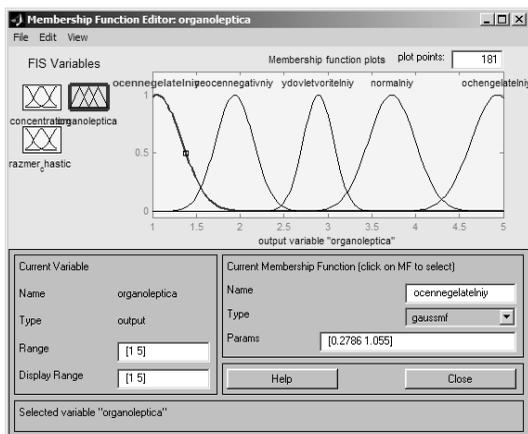
12. По аналогии с пунктом 10 зададим следующие наименования термов переменной «**concentration**»: низкая – «**nizkiy**», не очень низкая – «**neochennizkiy**», средняя – «**sredniy**», не очень высокая – «**neochervisokiy**», высокая – «**visokiy**». В результате получим графическое окно, изображённое на рис. 8.



**Рис. 8. Функции принадлежности переменной concentration**

13. Зададим функции принадлежности переменной «**organoleptica**». Для лингвистической оценки этой переменной будем использовать 5 термов с гауссовскими функциями принадлежности. Для этого активизируем переменную «**organoleptica**» с помощью щелчка левой кнопки мыши на блоке «**organoleptica**». Зададим диапазон изменения переменной «**organoleptica**». Для этого напечатаем **1 5** в поле **Range** (см. рис. 9) и нажмём **<Enter>**. Затем в меню **Edit** выберем команду **Add MFs**. В появившемся диалоговом окне выбираем тип функции принадлежности **gaussmf** в поле **MF type** и **5** термов в поле **Number of MFs**. После этого нажимаем **<Enter>**.

14. По аналогии с пунктом 10 зададим следующие наименования термов переменной «**organoleptica**»: очень желательная «**ocennegelatlniy**», не очень желательная «**neocennegativniy**», удовлетворительная «**ydovletvoritelniy**», нормальная – «**normalniy**», очень желательная – «**ochengelatlniy**». В результате получим графическое окно, изображённое на рис. 10.



**Рис. 9. Функции принадлежности переменной «organoleptica»**

15. Перейдём в редактор базы знаний **RuleEditor**. Для этого выберем в меню **Edit** выберем команду **Edit rules**.

16. На основе экспериментальных данных и сенсорного анализа изготовленных образцов конфет сформулируем следующие 15 правил: 1) если концентрация средняя, то органолептика не очень желательная; 2) если концентрация высокая, то органолептика очень желательная; 3) если концентрация не очень высокая, то органолептика удовлетворительная; 4) если размер частиц мелкий, то органолептика удовлетворительная; 5) если размер частиц не очень мелкий, то органолептика очень желательная; 6) если размер частиц средний, то органолептика удовлетворительная; 7) если размер частиц не очень крупный, то органолептика не очень желательная; 8) если размер частиц крупный, то органолептика очень желательная; 9) если концентрация высокая и размер частиц не очень мелкий, то органолептика очень желательная; 10) если концентрация не очень низкая и размер частиц не очень мелкий, то органолептика очень желательная; 11) если концентрация средняя и размер частиц не очень мелкий, то органолептика нормальная; 12) если концентрация низкая, то органолептика очень желательна; 13) если концентрация не очень низкая, то органолептика очень желательна; 14) если концентрация высокая и размер частиц мелкий, то органолептика очень желательная; 15) если концентрация не очень низкая и размер частиц не очень мелкий, то органолептика очень желательная. Для ввода правила необходимо выбрать в меню соответствующую комбинацию термов и нажать кнопку **Add rule**.

На рисунке 10 изображено окно редактора базы знаний после ввода всех 15 правил. Число, приведённое в скобках в конце каждого правила, представляет собой весовой коэффициент соответствующего правила.

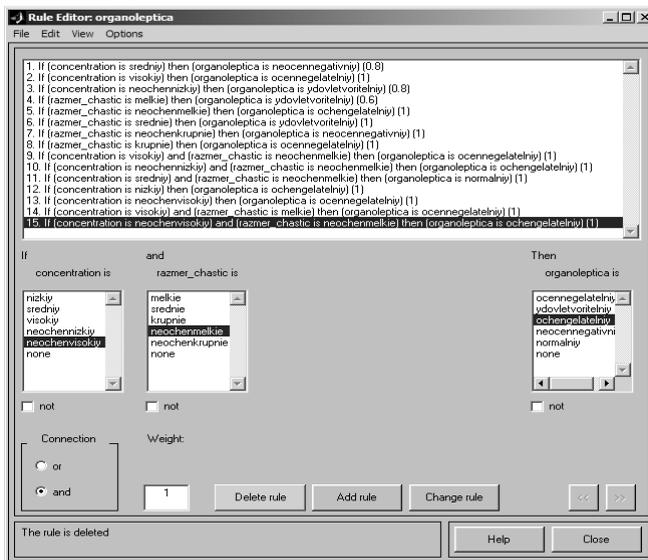
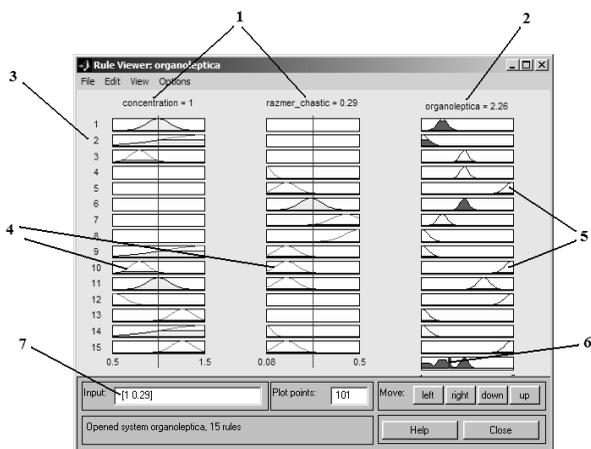


Рис. 10. База знаний в RuleEditor

17. Сохраним созданную систему. Для этого в меню **File** выбираем в подменю **Export** команду **To disk**.

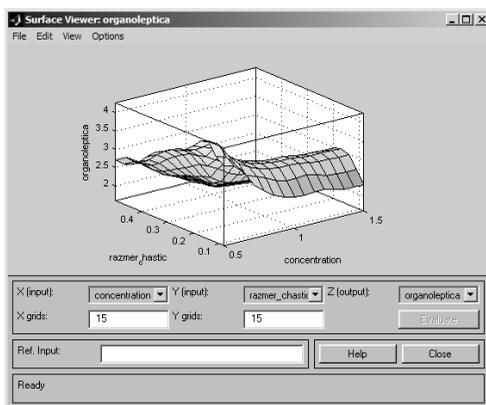
18. Для визуализации нечёткого логического вывода воспользуемся командой **View rules...** меню **View**. В поле **Input** указываются значения входных переменных, для которых выполняется логический вывод (рис. 12). На рисунке 11 показан ход логического вывода по каждому правилу, получение результирующего нечёткого множества и выполнение процедуры дефаззификации с использованием встроенного модуля **Rule Viewer**. Каждое правило базы знаний представляется в виде последовательности горизонтально расположенных прямоугольников. Заливка графиков функций принадлежности входных переменных демонстрирует степень соответствия значений на входе термам правила. Заливка графика функции принадлежности выходной переменной представляет собой результат логического вывода в виде нечёткого множества по данному правилу. Результирующее нечёткое множество, соответствующее логическому выводу по всем правилам, показано в нижнем прямоугольнике последнего столбца графического окна. В этом же прямоугольнике вертикальная линия соответствует чёткому значению логического вывода, полученному в результате дефаззификации. Ввод значений входных переменных осуществляется в поле **Input**. Разработанная модель используется в проектировании новых видов конфет как генератор оптимального рецептурного состава по экспертным оценкам при дегустации образцов конфет.



**Рис. 11. Визуализация нечёткого логического вывода в RuleViewer**

- 1 – наименования входных переменных (сахар, патока, пищевые волокна) и их значения;
- 2 – наименование выходной переменной и результат вывода;
- 3 – порядковый номер правила;
- 4 – функции принадлежности входных переменных;
- 5 – функции принадлежности выходных переменных;
- 6 – результат выполнения процедуры дефаззификации;
- 7 – текущие значения входных переменных

Результаты моделирования удобно представлять в графическом виде с использованием модуля Surface Viewer (рис. 12). Он визуализирует зависимость любой выходной переменной от одной или двух входных переменных. Для вывода этого окна необходимо использовать команду **View surface** меню **View**.



**Рис. 12. Синтез нечёткой системы**

Таким образом, аппарат нечёткой логики позволяет определить оптимальное соотношение рецептурных ингредиентов при проектировании новых многокомпонентных видов кондитерских изделий с улучшенными потребительскими характеристиками.

После изучения руководства пользователя модуля Fuzzy Logic Toolbox, входящего в пакет MatLab студентам предлагается определить соотношение рецептурных ингредиентов в одном из видов сахарных и мучных кондитерских изделиях, позволяющих обеспечить оптимальные органолептические показатели продукта.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Олейникова, А.Я. Технологические расчёты при производстве кондитерских изделий / А.Я. Олейникова, Г.О. Магомедов, И.В. Плотнокова. – СПб. : Изд-во РАПП, 2008. – 240 с.
2. Научные принципы конструирования комбинированных продуктов питания / Н.В. Колесникова, С.Ю. Лескова, И.В. Брянская, К.М. Миронов. – Улан-Удэ : Изд-во Восточно-Сибирский гос. технол. ун-тет, 2005. – 44 с.
3. Скурихин, И.М. Таблицы химического состава и калорийности российских продуктов питания : справочник / И.М. Скурихин, В.А. Тутельян. – М. : ДеЛи принт, 2008. – 276 с.
4. Грэхем, Иан. Объектно-ориентированные методы. Принципы и практика / Грэхем, Иан. – 3-е изд. – М. : Вильямс, 2004. – 880 с.
5. Дьяконов, В.П. Matlab 6/6.1/6. 5+Simulink 4/5. Основы программирования : руководство пользователя. – М. : Солон-Пресс, 2002. – 768 с.
6. Свидетельство о регистрации программ для ЭВМ – № 2009616582 от 26.11.2009 г. Расчёт однофазных рецептур кондитерских изделий / Е.И. Муратова, С.Г. Толстых, С.С. Толстых.
7. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ «Etalon» № 2005610751 от 30 марта 2005 г. / А.А. Борисенко.
8. Свидетельство на программу для ЭВМ № 2007610187. Разработка рецептур композиций из растительного сырья (РКРС) / И.А. Бугаец, Ф.В. Москаленко, М.Ю. Тамова, Н.А. Бугаец.
9. Свидетельство на программу для ЭВМ № 2005612711. Электронный ресурс для расчёта рационов школьного питания (ШкоОптиПит) / Н.Г. Колесникова, А.С. Бородихин, Н.Т. Шамкова, Г.М. Зайко, А.С. Григорьев.
10. Свидетельство на программу для ЭВМ № 2005611720. Программа для автоматизированного проектирования, расчёта и оценки качества многокомпонентных рецептур пищевых продуктов (Generic-2.0) / А.А. Запорожский, В.А. Запорожский.