

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

**Е.И. МУРАТОВА, С.Г. ТОЛСТЫХ, С.И. ДВОРЕЦКИЙ,  
О.В. ЗЮЗИНА, Д.В. ЛЕОНОВ**

**АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ  
ПРОЕКТИРОВАНИЕ  
СЛОЖНЫХ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ  
ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ**

Утверждено Учёным советом  
в качестве учебного пособия для студентов  
направлений 240700 – Биотехнология и  
260100 – Продукты питания из растительного сырья



---

Тамбов  
Издательство ФГБОУ ВПО «ТГТУ»  
2011

УДК 664.143  
ББК 36.86  
А224

Р е ц е н з е н т ы:

Начальник производственной лаборатории ОАО «Орбита»

*О.Б. Шуняева*

Доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВПО «ТГТУ»

*В.Е. Подольский*

А224 Автоматизированное проектирование сложных многокомпонентных продуктов питания : учебное пособие / Е.И. Муратова, С.Г. Толстых, С.И. Дворецкий, О.В. Зюзина, Д.В. Леонов. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2011. – 80 с. – 100 экз.  
ISBN 978-5-8265-1067-4.

Рассмотрены современные подходы к проектированию рецептур многокомпонентных продуктов питания и основные этапы разработки рецептур со сложным сырьевым составом. Представлен обзор существующих методов и программных продуктов для проектирования рецептур. Приведены примеры использования компьютерного моделирования и специализированных программных комплексов для решения задач расчёта и оптимизации рецептурного состава.

Предназначено для студентов направлений 240700 – Биотехнология и 260100 – Продукты питания из растительного сырья.

УДК 664.143  
ББК 36.86

ISBN 978-5-8265-1067-4

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тамбовский государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО «ТГТУ»), 2011

## ВВЕДЕНИЕ

Основные направления социального и экономического развития Российской Федерации предусматривают последовательное увеличение объёмов производства высококачественных продуктов питания. Развитие этого направления соответствует Концепции государственной политики в области здорового питания и предполагает создание экономической и материальной базы, обеспечивающей необходимые объёмы производства продовольственного сырья и пищевых продуктов, расширение ассортимента продуктов функциональной направленности, постоянный контроль качества и безопасности продуктов питания [16].

Одним из основных направлений в области здорового питания является производство продуктов, имеющих поликомпонентный состав и включающих как основные нутриенты, так и микронутриенты, к которым относятся витамины и минеральные вещества. Создание указанной группы продуктов представляется актуальным, поскольку за счет многокомпонентности состава достигается наиболее полное обеспечение организма физиологически полезными нутриентами в требуемом количестве. Такие продукты призваны восстанавливать микробиологический баланс человеческого организма, повышать иммунный статус и в итоге должны поддерживать здоровье и снизить стоимость затрат на его восстановление.

Рацион современного человека включает, как правило, пищевые продукты сложного рецептурного состава, что определяет развитие самостоятельного направления – проектирование сложных многокомпонентных продуктов питания.

При проектировании пищевых продуктов сложного сырьевого состава используют основной принцип теории сбалансированного питания – пищевые нутриенты должны поступать в организм человека в определённом количестве и соотношении. Варьируя состав рецептурных смесей, обогащая их эссенциальными нутриентами, можно добиться определённой направленности физиологического воздействия. При разработке новых рецептур большое значение имеет также возможность моделирования потребительских характеристик готовых изделий, прогнозирования их биологической безопасности, качества и функционально-технологических свойств с учётом явления синергизма, что позволяет в конечном итоге повысить их конкурентоспособность.

Усиление конкуренции на сырьевом и продовольственном рынках приводит к необходимости постоянного расширения ассортимента выпускаемой продукции путём коррекции существующих рецептурных композиций и разработки новых рецептур.

Создание новых продуктов питания осуществляется в соответствии со следующими основными принципами:

- 1) определение гигиенической безопасности новых источников сырья и готовых пищевых продуктов;

2) использование пищевых и вкусоароматических добавок согласно имеющимся гигиеническим требованиям, предъявляемым органами здравоохранения;

3) сочетание органолептических показателей новых продуктов с предпочтениями потребителей, традициями и национальными особенностями в питании отдельных групп населения;

4) сбалансированность продуктов по содержанию основных нутриентов, стойкость при хранении, доступность для потребителя;

5) указание направленности продукта, характеризующейся определённой пищевой и биологической ценностью;

6) осуществление целенаправленного контроля показателей качества со стороны государственных органов.

Сегодня в России, как и во всём мире, реализуются национальные программы по оздоровлению населения, неотъемлемой частью которых являются меры по улучшению структуры питания и качества пищевых продуктов. С учётом изменений, произошедших в социальной сфере, человеку требуется рацион меньшей калорийности, но с достаточным количеством микронутриентов, что при использовании традиционных продуктов обеспечить невозможно, так как они не способны компенсировать потребности современного человека в жизненно важных микронутриентах, учитывая физические и эмоциональные нагрузки, стрессовые ситуации и тревоги, характерные для техногенного общества. В связи с этим всё большее распространение получают новые виды функциональных продуктов питания, отвечающих физиологическим потребностям конкретных групп населения, обладающих лечебно-терапевтическим и лечебно-профилактическим спектром действия.

Ключевыми аспектами при создании функциональных продуктов питания являются научно обоснованный подбор физиологически функциональных пищевых ингредиентов с требуемыми санитарно-гигиеническими, медико-биологическими показателями, направленными лечебно-профилактическими свойствами, а также разработка новых технологических решений, позволяющих существенным образом влиять не только на органолептические и физико-химические показатели сырья и готовой продукции, повышая их пищевую ценность, но и придавать им направленные функциональные свойства. Преимуществами автоматизированного проектирования рецептур при создании функциональных продуктов питания является возможность регулирования их химического состава путём изменения соотношения отдельных компонентов с учётом их свойств, безопасности и конечного медико-биологического назначения продуктов.

Основными направлениями научной и научно-практической деятельности в области проектирования новых продовольственных продуктов являются:

– разработка рецептур и технологий продуктов питания массового потребления, функциональных и специализированных пищевых продуктов, в том числе обогащённых эссенциальными микронутриентами;

– разработка рецептур и технологий биологически активных добавок к пище, витаминно-минеральных премиксов-обогачителей и технологических смесей, предназначенных для обогащения пищевых продуктов;

– изучение физико-химических и органолептических показателей функциональных и специализированных пищевых продуктов, в том числе обогащённых микронутриентами;

– изучение содержания и сохранности микронутриентов в продовольственном сырье и обогащённых пищевых продуктах в процессе их производства и хранения;

– научная и аналитическая экспертиза биологически активных добавок и пищевых продуктов, обогащённых витаминами, минеральными веществами и другими функциональными пищевыми ингредиентами;

– моделирование рецептурных смесей пищевых продуктов массового потребления и специализированных пищевых продуктов с учётом объёмов потребления продуктов питания и особенностей технологических процессов, обеспечивающих сохранность эндогенных и вносимых микронутриентов;

– создание программных продуктов для автоматизированного расчёта рецептур с учётом колебаний состава сырья и оптимизации состава многокомпонентных рецептурных смесей.

Сырьевая база современной пищевой промышленности насчитывает тысячи ингредиентов, каждый из которых имеет свои подвиды и особенности, различается по функционально-технологическим, физико-химическим и органолептическим характеристикам. Систематизация этих параметров позволяет в значительной степени упростить процесс проектирования. Автоматизация процесса проектирования рецептур позволит сотрудникам пищевых предприятий оперативно реагировать на изменение свойств и видов сырьевых ингредиентов, изменение потребительских предпочтений, и создавать продукты с заранее заданным химическим составом, пищевой ценностью и функциональной направленностью.

Оптимальные решения этих задач при проектировании пищевых продуктов могут быть достигнуты с помощью их формализованных математических описаний – математических моделей, отражающих в аналитическом виде множества функциональных связей между технологическими, экономическими и другими параметрами сырьевых ингредиентов, требуемыми характеристиками готовых изделий (целевая функция) и рядом ограничений, вытекающих из требований нормативной документации.

Таким образом, математическое и имитационное моделирование становится для технолога одним из необходимых инструментов решения задач оптимизации комплекса свойств пищевого продукта – органолептических, физико-химических, микробиологических – по установленным критериям и ограничениям на каждом этапе его разработки.

## 1. СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ РЕЦЕПТУР ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

В современной литературе всё чаще фигурирует понятие «проектирование» пищевых продуктов. Под проектированием пищевых продуктов понимают процесс создания рациональных рецептов, способных обеспечить высокий уровень адекватности комплекса свойств пищевого продукта требованиям потребителя и нормируемым величинам содержания нутриентов и энергии.

Это сравнительно новое научное направление исследований, позволяющее разрабатывать состав сложных многокомпонентных продуктов с заданным комплексом качественных и количественных показателей. При этом комплекс показателей постоянно расширяется и включает в себя не только потребительские свойства продуктов, но и технологические, медико-биологические, санитарно-гигиенические и др.

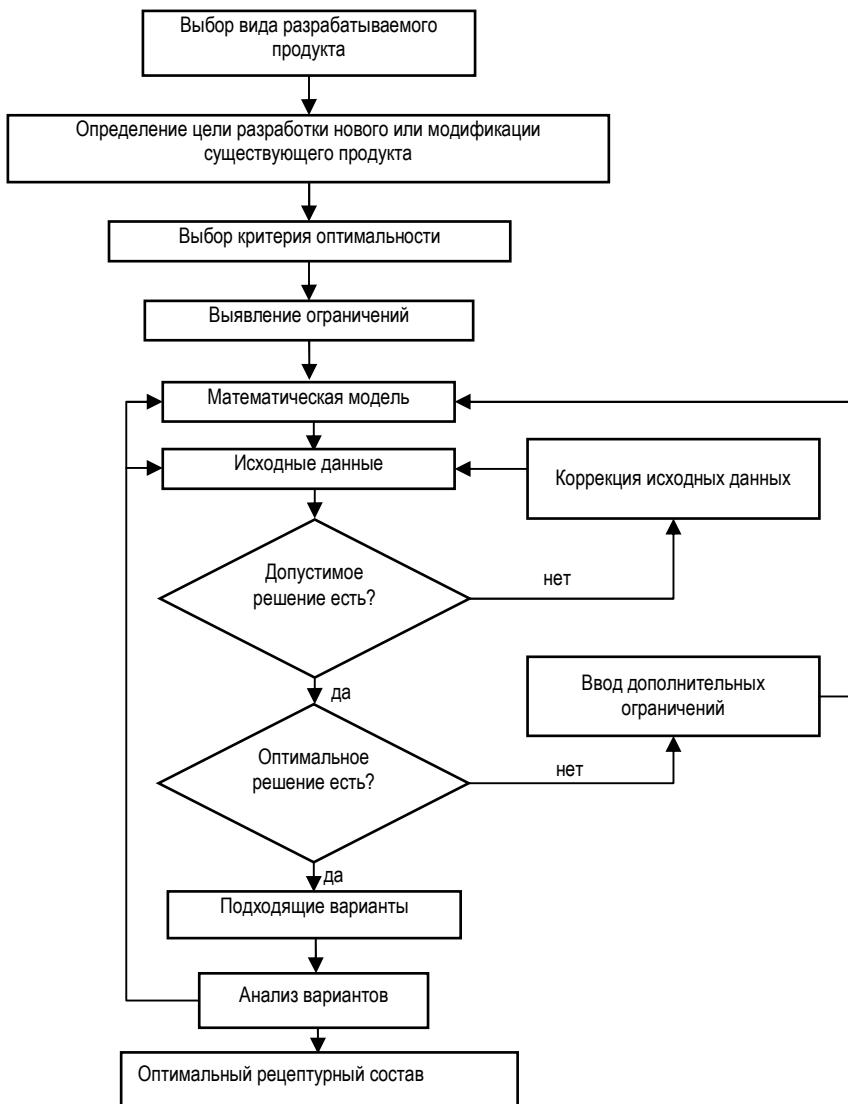
В соответствии с современными представлениями понятие «проектирование» продуктов включает в себя разработку моделей, описывающих этапы создания продуктов заданного качества и представляющих собой математические зависимости, отражающие все изменения одного или нескольких ключевых параметров, на основе которых они разрабатываются, а также оптимизацию выбора и соотношения исходных компонентов, по которым можно получить рецептуру, которая по количественному содержанию и качественному составу максимально соответствует формуле сбалансированного питания, отвечает медико-биологическим требованиям и обладает высокими потребительскими свойствами [16].

Одной из важных задач при проектировании многокомпонентных пищевых систем является обеспечение оптимального набора и соотношения рецептурных ингредиентов при разработке новых видов функциональных продуктов питания для различных категорий населения.

### 1.1. ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЕЦЕПТУР СЛОЖНЫХ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

В общем виде процесс построения математической модели состоит из отдельных последовательно выполняемых этапов: выбора вида разрабатываемого продукта (объекта проектирования), определения цели исследования, выбора критерия оптимальности, выявления неизвестных и основных ограничений, математической формализации (рис. 1).

**Выбор вида разрабатываемого продукта (объекта проектирования).** Объектами разработки (проектирования) могут служить изделия различных групп (молочные, мясные, хлебобулочные, кондитерские и др.), обладающие своими особенностями, которые должны быть учтены в процессе проектирования. На основе анализа характеристик продуктов конкретной группы определяется объект проектирования.



**Рис. 1. Алгоритм проектирования рецептуры пищевого продукта**

**Определение цели разработки нового или модификации существующего продукта.** Разработка новых и совершенствование традиционных пищевых продуктов проводится с определённой целью. Эта цель должна быть чётко сформулирована. От того, насколько правильно и кон-

клетно отражена цель, зависит и содержание модели. Формулировка цели должна характеризоваться чёткостью и полнотой. Например, при проектировании пластифицированной сырной массы может быть поставлена цель – разработать продукт функционального назначения.

Начальный этап проектирования заключается в формализации целей и задач, что позволяет структурировать процесс разработки, установить взаимосвязи и последовательность основных этапов. В качестве примера такого подхода на рис. 2 изображена схема процесса разработки сырного продукта с растительным наполнителем [7].

**Выбор критерия оптимальности.** В связи с поставленной целью исследований определяется критерий оптимальности, т.е. экономический, технологический или другой показатель, на основе которого сравниваются возможные варианты, и выбирается наилучший из них.

Критерий оптимальности служит формой количественного выражения цели поставленной задачи. Он может иметь стоимостное и натуральное выражение.

При разработке пищевых продуктов может использоваться один или несколько критериев оптимальности. При этом в случае использования нескольких критериев, решение задачи может иметь противоречивый характер, поэтому необходимо установить требуемое сочетание выбранных критериев (по сути перейти к комплексному критерию оптимизации).

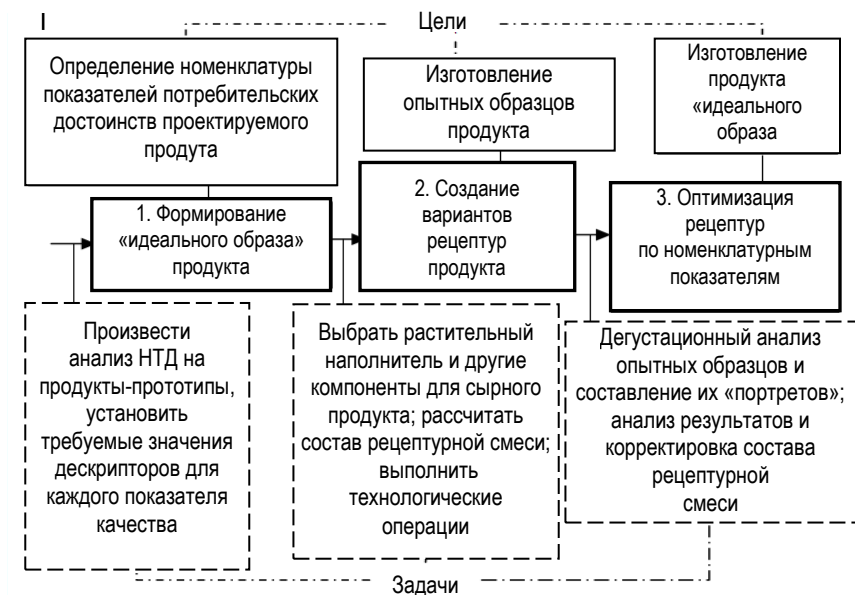


Рис. 2. Схема этапов создания пластифицированной сырной массы



Возвращаясь к нашему примеру, отметим два возможных варианта:

1) один критерий оптимальности – содержание витамина С в 100 г сырной массы, в данном случае оптимальным будет рецептурное соотношение, позволяющее получить массу с заданным содержанием витамина;

2) два критерия оптимальности – содержание Са и Р в 100 г сырной массы, в этом случае целесообразно в качестве оптимального принять такое рецептурное соотношение, которое обеспечит сочетание Са и Р в готовом продукте в пропорции, рекомендованной медико-биологическими исследованиями.

**Выявление ограничений.** Поиск оптимального решения с помощью математического аппарата осуществляется обычно в условиях каких-либо ограничений. Состав ограничений зависит от свойств объекта проектирования и требований, которые вытекают из формулировки задачи. Поэтому состав ограничений должен достаточно полно, наиболее эффективно и по возможности кратко отражать существо задачи разработки. В математической модели ограничения выражаются в виде систем неравенств, уравнений и других соотношений.

Состав и число ограничений влияют на сложность решения задачи. При выборе ограничений необходимо стремиться к тому, чтобы их было столько, сколько требуют условия поставленной задачи. Включение в модель большого числа ограничений усложняет вычислительный процесс и сокращает область выбора решений задачи. Но, с другой стороны, упущение какого-либо ограничения в модели может привести к тому, что результат решения задачи окажется практически непригодным.

Достаточное число ограничений не всегда удаётся определить при разработке модели. Отдельные необходимые для конкретной задачи ограничения могут быть выявлены только после её решения. Например, при разработке рецептуры пластифицированной сырной массы в качестве ограничений использованы: максимальные концентрации отдельных ингредиентов и содержание витамина С в готовых изделиях. После решения задачи выяснилось, что не была учтена себестоимость продукции, что существенно сказалось на конкурентоспособности продукта. В этом случае модель должна быть дополнена и расчёт проведён заново.

**Математическая формализация.** Процесс разработки записывается в виде математической модели с помощью различных символов, обозначающих искомые неизвестные и разнообразные технико-экономические показатели задачи.

Математические модели в виде алгебраических и дифференциальных уравнений, уравнений регрессии, систем уравнений в частных производных и конечных разностях при достаточном объёме априорных данных могут быть получены аналитическими методами с использованием основных физических законов и классических принципов анализа систем, а также экспериментальными методами, с применением математической

статистики, регрессионного анализа и планирования эксперимента. Сложность получения адекватных моделей влияния рецептурного состава на качественные характеристики пищевых продуктов обусловлена их достаточно большой начальной неопределённостью, связанной с трудноформализуемым разбросом нормативов и свойств сырья, а также характеристик связей между физико-химическими показателями сырья и готовой продукции. При этом внешние воздействия и факторы, определяющие свойства сырья и продукта на различных стадиях технологического процесса, меняются и иногда заранее не могут быть однозначно определены.

В этих условиях наряду с традиционными подходами моделирование должно быть связано с созданием адаптивных моделей в виде алгоритмов обучения и адаптации, основанных на методах математического программирования в задачах опознавания, идентификации и исследования операций.

Выбор тех или иных методов и технических средств моделирования во многом определяется целевым назначением модели, определяемым прикладными задачами её использования в системах автоматизированного расчёта и оптимизации рецептур многокомпонентных пищевых систем.

В последнее время задачи, связанные с моделированием многокомпонентных рецептурных смесей пищевых продуктов, решают с помощью математического программирования количественного состава – заданных парциальных частей (компонентов), входящих в данную смесь. Используемые правила описания систем, состоящих из заданных компонентов смесей, основываются, как правило, на линейных аддитивных моделях, когда их результирующие физические, химические и другие (в том числе потребительские) свойства являются аддитивной (взвешенной) суммой соответствующих свойств компонентов. Задача заключается в отыскании весовых коэффициентов и масс компонентов смеси. При моделировании систем применяется также подход, состоящий в том, что многокомпонентные рецептурные смеси описываются различными регрессионными уравнениями, связывающими характеристики этих смесей с характеристиками и массовыми долями их парциальных компонентов. В основном для этих целей используют полиномиальные зависимости функционально-технологических свойств от массовых долей их парциальных компонентов второго (а иногда, но гораздо реже, третьего) порядка, обосновывая выбор порядка соображениями минимизации наименьших квадратичных ошибок моделей. Однако полиномиальные зависимости не всегда согласуются с физическим смыслом задачи, что заставляет находить новые приёмы для решения поставленной проблемы. Оптимизация параметров смеси позволяет обеспечить получение (с большей долей вероятности) продуктов заданного качества.

Разработка рецептур продуктов питания, отвечающих современным физиологическим нормам, заключается в обеспечении сбалансированного

химического состава готового изделия при высоких органолептических показателях и оптимальности стоимости. При решении этой задачи совокупность требований к качеству готового продукта формулируется в виде множества ограничений, которые касаются как элементов химического состава и стоимости продукта, так и процентного содержания отдельных ингредиентов. Такие ограничения имеют, как правило, вид следующих двойных неравенств:

$$\begin{aligned} C_{i\min} &\leq C_i \leq C_{i\max}; \\ Y_{j\min} &\leq Y_j \leq Y_{j\max}, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $C_i$  – значение  $i$ -го элемента (белок, жир и т.д.) в готовом продукте;  $Y_j$  – массовая доля  $j$ -го ингредиента в рецептуре;  $C_{i\min}$ ;  $C_{i\max}$ ;  $Y_{j\min}$ ;  $Y_{j\max}$  – верхние и нижние границы допустимого диапазона.

Нахождение оптимальной рецептуры сводится к решению системы уравнений (2):

$$\begin{aligned} C_1 &= \sum_{j=1}^n Y_j X_{1j}; \\ C_2 &= \sum_{j=1}^n Y_j X_{2j}; \\ &\dots \\ C_i &= \sum_{j=1}^n Y_j X_{ij}, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $X_{ij}$  – значение  $i$ -го элемента в  $j$ -м ингредиенте;  $n$  – число ингредиентов в продукте.

Задача поиска экстремума некоторой линейной формы в  $n$ -мерном пространстве при наличии ограничений в виде неравенства на множестве линейных форм известна в математике как классическая задача линейного программирования. Попытки решения задач такого рода показали, что совокупность ограничений, накладываемых на свойства готового изделия, часто противоречива, т.е. в пространстве рецептов вообще не существует области, точки которой удовлетворяют всем ограничениям одновременно.

В таких случаях возможно: ослабить ограничения на свойства готового изделия посредством отклонений от некоторых из них; ослабить каждое из них, множество ограничений; расширить набор ингредиентов рецептуры продукта при неизменных ограничениях с тем, чтобы устранить их противоречивость.

Моделирование рецептурных смесей пищевых продуктов общего и функционального назначения находит всё более широкое применение на

практике. Оптимизационные задачи, как правило, решаются по выбранным направлениям, например, химическому, минеральному, витаминному составам, энергетической ценности. Большое внимание при этом уделяется вопросам проектирования комбинированных пищевых систем, т.е. созданию рациональных рецептов и/или оптимальных структурно-механических свойств продукта при одновременном использовании сырья растительного и животного происхождения.

Для разработки методологии компьютерного проектирования многокомпонентных продуктов питания необходимо провести анализ достоинств и недостатков методов, используемых для решения аналогичных задач различными авторами.

## 1.2. АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЕЦЕПТУР ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

Для проектирования рецептов многокомпонентных пищевых систем в основном используются подходы, базирующиеся на методах экспериментально-статистического моделирования и линейного программирования.

Так, при разработке оптимальных рецептов сухих завтраков повышенной биологической ценности применяется методология экспериментально-статистического моделирования, класс задач «технология – система». Методология основывается на выделении ключевого нутриента моделирования и оптимизации его качества [12]. Это направление получило развитие в ряде аналитических методов расчёта качества белковой составляющей отдельных пищевых продуктов и многокомпонентных композиций. Выбор плана эксперимента осуществляется по каталогу последовательно генерированных оптимальных планов для полных многомерных полиномов второго порядка. Критерием оптимизации служит содержание каждой из восьми незаменимых аминокислот. Вычислительный эксперимент состоит в получении поверхности отклика по модели при варьировании значений переменных по всему фактор-пространству. Локальная область фактор-пространства определяется с учётом химического состава сырья. Расчёт коэффициентов и статистическая обработка результатов выполняются с помощью регрессионного анализа по методу наименьших квадратов после реализации эксперимента и позволяют получить регрессионные уравнения, в той или иной мере описывающие количество каждой из незаменимых аминокислот при варьировании рецептурного состава продукта. Графическая интерпретация результатов вычислений в виде изолиний на поверхности треугольника по каждой математической модели позволяет на практике прогнозировать количество каждой аминокислоты при выбранном соотношении рецептурных компонентов [13].

Следует отметить, что недостатком этого подхода является необходимость проведения большого количества дорогостоящих экспериментов, в частности, сложных биохимических анализов. Проводимые исследования зачастую относятся к довольно узким диапазонам изменения параметров, не учитывается эффект непропорциональности переноса лабораторных исследований на промышленное оборудование. Тем не менее в ряде случаев положительный эффект от экспериментально-статистического моделирования тем сильнее и значительнее, чем сложнее биохимические и физико-химические процессы, или, иначе говоря, чем меньше изученность составных частей предмета исследования.

При оптимизации рецептур пищевых продуктов известно использование симплекс-метода, который является численным методом решения задачи линейного программирования, позволяющим найти оптимальное решение: найти экстремум линейной целевой функции при линейных ограничениях на искомые переменные. Процесс принятия решения симплекс-методом переходит от неформализованного к формализованному методу. Принятие формализованных решений базируется на двух основных методах: логическом моделировании и оптимизации. Оптимальные решения имеют следующие базовые составляющие: математическую модель, алгоритм решения этой задачи и исходные данные. Оптимизационная задача решается по выбранным показателям (например, химическому составу, витаминному, минеральному составу и энергетической ценности). Симплекс-решётчатое планирование эксперимента целесообразно применять при исследовании влияния составов смесей на их свойства. Для расчёта математической модели рецептур используют исходную выходную информацию. В расчётах участвуют: целевая функция, ограничения по содержанию нутриентов и граничные условия по некоторым переменным [5].

Недостатком этого подхода является тот факт, что получаемое решение зачастую находится на границе допустимых областей применения варьируемых переменных, т.е. задача является частично или полностью вырожденной. При решении задачи оптимизации рецептуры таким способом нельзя учесть несколько критериев оптимизации и нелинейности, которые могут иметь место при взаимодействии искомых переменных.

Липатовым Н.Н. проводились исследования по вопросам проектирования продуктов и рационов питания с задаваемой пищевой ценностью с применением ЭВМ [11]. Начальная стадия разработки теоретических основ и конкретных методов реализации принципов проектирования сбалансированных пищевых продуктов была связана с формализацией качественных и количественных представлений о рациональности использования незаменимых аминокислот в технологии адекватной экзотрофии. Формализация учитывает взаимосбалансированность незаменимых аминокислот. На основании принципа Митчелла–Блока предложены: коэф-

фициент утилизации незаменимых аминокислот; коэффициент утилитарности аминокислотного состава в продукте г/100 г белка; коэффициент аминокислотного состава, характеризующий сбалансированность незаменимых аминокислот по отношению к физиологически необходимой норме (эталону); показатель сопоставимой избыточности содержания незаменимых аминокислот, характеризующий суммарную массу незаменимых аминокислот, которые не используются на анаболические цели. Следует отметить, что, несмотря на теоретическую обоснованность, экспериментальная проверка взаимосбалансированности аминокислот включает в себя исследование метаболизма в организме человека, что является очень сложным.

В работе [19] рассматривается методика проектирования рецептур многокомпонентных пищевых продуктов, включающая в себя три этапа: моделирование аминокислотного состава белка проектируемого пищевого продукта и выбор значений, в наибольшей степени удовлетворяющих критерию; оценка жирнокислотного состава проектируемого продукта; расчёт энергетической ценности проектируемых продуктов питания. Методика определения состава продуктов может быть использована для обоснования сбалансированных пищевых рационов, включающих первые и вторые блюда (с учётом состава гарниров, количества съедаемого хлеба), десертные блюда и напитки. Наиболее перспективно применять данную методику к мясным продуктам, входящим в пищевые рационы определённых групп людей, объединённых по возрастному, профессиональному или другим признакам, питание которых осуществляется централизованно.

При разработке теоретических предпосылок компьютерного проектирования продуктов питания на мясной основе для людей пожилого возраста использовалась оптимизация параметров разрабатываемого продукта путём моделирования рецептуры с привлечением интегрального критерия сбалансированности по широкому кругу показателей. При этом применялась квалиметрическая мультипликативная модель, позволяющая свести в одну форму относительные комплексные и простые единичные показатели качества различного характера, обеспечивающие независимость свойств каждого из показателей. Процесс моделирования на ЭВМ, модифицированный автором, осуществлялся в общем виде циклическим алгоритмом Н.Н. Липатова. Для нахождения частного критерия используется функция желательности Харрингтона. Фактор моделирования преобразуется в безразмерную величину, которая выступает показателем соответствия его значения эталону. Преимущество функции желательности Харрингтона заключается в её безразмерности, что позволяет производить моделирование с использованием факторов различной размерности и диапазона значений варьируемых переменных.

В этом подходе присутствует недостаток, свойственный объединению многих противоречивых факторов в один критерий. Полученное ре-

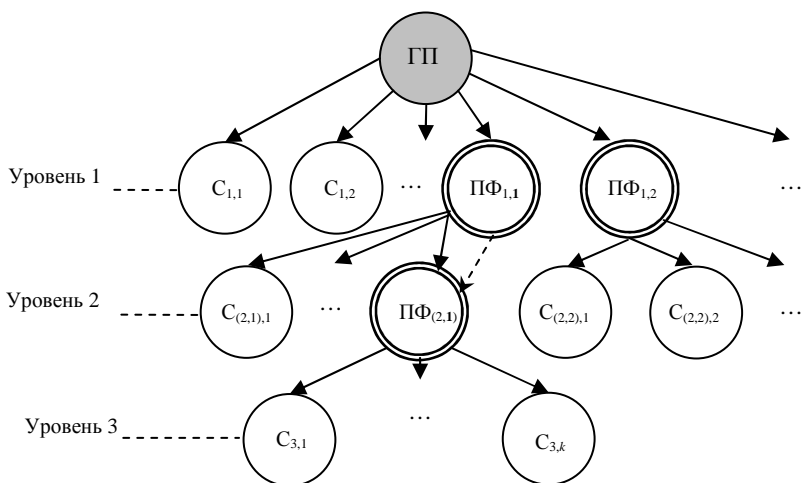
шение нестабильно и весьма эмпирично. Аналогичные недостатки присущи подходу Ю.А. Ивашкина с соавторами [8] в разработке экспертной системы адекватного питания при проектировании продуктов питания, где предлагается использовать оптимизацию по каждому выбранному критерию с попарным сравнением и оценкой качества полученного продукта по независимому функционалу качества и шкалам желательности.

Определённый интерес представляет работа [26], в которой описывается решение задачи оптимизации рецептуры бисквитного полуфабриката. В качестве основных тенденций к постановке задачи берётся замена пшеничной муки на более питательную – тритикалевую. К критериям оценки влияния различных количеств рецептурных компонентов на качество готового продукта относятся комплексный показатель, характеризующий свойства и внешний вид изделий, а также высота бисквита. Оба показателя исследовались в ходе экспериментов и были получены соответствующие нелинейные регрессионные зависимости. В качестве независимых переменных выступали: дозировка крахмала, сахара, меланжа, процент массы тритеалиевой муки и продолжительность сбивания массы.

Тем не менее из материала статьи неясно, как всё же были получены оптимальные значения параметров, задача с двумя критериями не решалась как двухкритериальная, а построенные номограммы чёткого обоснования не имеют.

В работе [4] для проектирования многокомпонентных пищевых продуктов предложено использование объектно-ориентированного подхода. Отличительной особенностью объектно-ориентированного подхода к проектированию рецептур многокомпонентных пищевых систем является представление рецептуры в виде иерархической структуры (рис. 3).

Каждая из вершин иерархической структуры представляет собой объект (готовый продукт, полуфабрикат, сырьё). Каждый уровень иерархии соответствует определённой стадии изготовления пищевого продукта и может иметь своё, индивидуальное число вершин, расположенных ниже по иерархии. На рисунке 3 показана трёхуровневая иерархия расчёта рецептур, где первый индекс – номер уровня, второй – номер компонента рецептурной смеси. Если на том или ином уровне рецептуры используются несколько полуфабрикатов, их первый индекс становится составным и обозначается в виде списка  $(i, j)$ , где  $i$  – номер уровня;  $j$  – порядковый номер полуфабриката на  $i$ -м уровне. Этот составной индекс используется ниже по иерархии (показано штрихованной стрелкой). Алгоритм расчёта многофазной рецептуры пищевого продукта начинается с расчёта последнего уровня в наиболее длинной ветви иерархической структуры расчёта. На рисунке 1 расчёт рецептуры начинается с полуфабриката ПФ<sub>(2,1)</sub>, так как длина пути по иерархии расчёта до компонентов этого полуфабриката наибольшая. Исходными данными для расчёта последнего уровня являются: расход на загрузку всех видов сырья и готовых полуфабрикатов в натуре; потери сухих веществ; заданное количество готовой продукции равное 1 т.



**Рис. 3. Иерархическая структура рецептуры пищевого продукта:**  
 ГП – готовый продукт; С – сырьё; ПФ – полуфабрикат

Основным достоинством объектно-ориентированного представления является возможность наследования свойств и методов совместно с добавлением новых расчётных формул, учитывающих расширение сырьевого ассортимента, особенности производства, технико-экономические показатели процессов, протекающих в аппаратах технологической линии. В частности, может решаться задача проектирования пищевого продукта с заданными характеристиками из множества альтернатив ингредиентного состава с сохранением качественных показателей на заданном уровне с допустимым (или минимальным) уровнем себестоимости. Эта задача формализуется как структурно-интервальная задача решения системы неравенств, при этом ширина интервалов зависит от ширины допуска потерь пищевого производства.

Анализ литературных источников показал, что задачи проектирования пищевых продуктов решаются по выбранному направлению, например, химическому, минеральному, витаминному составам, энергетической ценности. Большое внимание при этом уделяется вопросам проектирования комбинированных мясных продуктов, под которыми понимается процесс создания рациональных рецептов, обеспечивающих задаваемый уровень адекватности. При проектировании пищевых продуктов задачу оптимизации стремятся упростить, сведя её к однокритериальной. Применение объектно-ориентированного подхода к расчёту рецептов позволит решать задачи многокритериальной оптимизации.



### 1.3. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАСЧЁТА И ОПТИМИЗАЦИИ 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. Недостатком использования MS Excel является отсутствие возможности автоматизированного ввода входных данных и расчётных зависимостей.

Специализированный программный комплекс «Etalon» [20] 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. Применение программы в значительной мере позволяет обеспечить упорядоченную работу с данными и разработать продукт с заданными свойствами. Программный комплекс состоит из следующих компонент: 1) информационная база данных, в которой хранится информация о нутриентном составе пищевого сырья и физиологических нормах питания различных социальных групп населения; 2) специализированная база данных, разработанная для повышения эффективности функционирования алгоритма моделирования рецептур пищевых продуктов; 3) система управления информационной базой данных. Информационная база данных разработана в среде Microsoft SQL Server 2000 в модели «клиент/сервер» и включает несколько взаимосвязанных таблиц. Специализированная база данных построена в программной среде Microsoft Access 2002. Программа предназначена для расчёта и оптимизации рецептур мясных изделий. К недостаткам данного программного продукта следует отнести обязательное наличие на рабочем компьютере Microsoft SQL Server и Microsoft Access.

Электронный ресурс для расчёта рационов школьного питания [21] 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» [22] позволяет в соответствии с современными принципами создания здоровых продуктов питания разработать рецептуры пищевых концентратов повышенной биологической ценности на плодоовощной основе. Зада-

ние необходимых параметров эталонного продукта позволяет получить рецептуры со сбалансированным соотношением макроэлементов и обеспечивающих максимально полное удовлетворение суточной потребности человека в витаминах и минеральных веществах.

Genetic 2.0 – программа Кубанского государственного технологического университета – предназначена для автоматизированного проектирования и расчёта многокомпонентных рецептур продуктов функционального питания [23]. Данный программный продукт предназначен для расчёта и оптимизации рецептур мясных, растительных и молочных изделий.

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.

Компьютерная программа «CheesePro 1.0» предназначена для расчёта рецептур типовых плавленых сыров по встроенному справочнику, создания новых рецептур плавленых сыров с заданными свойствами и прогнозирование свойств по заданному составу с использованием поликомпонентных композиций из вторичного молочного сырья [9].

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

На сайте <http://www.es-nsk.ru/programmi.html> представлены разработанные компанией «Эксперт Софт» компьютерные программы для технологий предприятий пищевой промышленности и общественного питания. Наибольший интерес представляют программы: «Технолог-кулинар», «Технолог-кондитер», «Технолог-хлебопёк».

Программа «Технолог-кулинар» разработана для внедрения элементов системы качества и безопасности на предприятиях индустрии питания. Функциональные возможности программы позволяют полностью автоматизировать разработку технологической документации на всех основных этапах производства кулинарной продукции: при входном контроле качества сырья, при производстве кулинарной продукции и при хранении и реализации кулинарной продукции.

Для входного контроля качества и безопасности сырья, поступающего на склад предприятия, автоматически создаётся «Лист входного контроля» на любой вид сырья, в котором перечислены все необходимые контролируемые показатели, правила приёмки, определены требования к условиям и срокам хранения, а также описаны порочащие признаки, при наличии которых приёмка сырья запрещена. Наличие такого документа позволяет работнику предприятия правильно провести процесс приёмки и хранения сырья, исключить использование в производстве некачественного сырья.

Разработка технико-технологических карт на блюда (кулинарные изделия) производится согласно методике Всероссийского научно-исследовательского института общественного питания (ВНИИОП). Проект рецептуры разрабатывается на основании результатов контрольных отработок с автоматическим расчётом и анализом средних показателей отходов и потерь при технологической обработке. Акт контрольной отработки на блюдо составляется автоматически. При разработке рецептур для определённого контингента (дошкольное, школьное, лечебно-профилактическое, спортивное питание, организация питания для различных религиозных конфессий) программа автоматически предупредит о том, что определённые виды сырья использовать не рекомендуется. Физико-химические показатели рассчитываются автоматически согласно требованиям «Методических указаний по лабораторному контролю качества продукции общественного питания», и нормируются согласно ГОСТ Р 50763–95 «Общественное питание. Кулинарная продукция, реализуемая населению. Общие технические условия», приложение «Б». Пищевая ценность кулинарной продукции характеризуется содержанием белков, жиров, углеводов, энергетическая ценность – ккал в 100 г блюда (изделия) и автоматически рассчитывается согласно требованиям «Методических указаний по лабораторному контролю качества продукции общественного питания» на основании таблиц, разработанных Институтом питания РАМН.

Данная программа предназначена для систематизации информации по товароведению, стандартизации, санитарным требованиям и технологии производства кулинарной продукции.

Программа «Технолог-кондитер» предназначена для автоматизации расчёта рецептур и оформления документации на мучные кондитерские изделия, торты и пирожные. В программе возможна разработка технологических инструкций, рецептур, для предприятий общественного питания возможна разработка технико-технологических карт. Однако в программе не предусмотрен расчёт многофазных рецептур кондитерских изделий, а также оптимизация рецептур.

Программа «Технолог-хлебопёк» предназначена для автоматизации расчёта рецептур и оформления документации на хлебобулочные изделия.

Программа состоит из библиотеки справочников и модуля разработки документации. Справочник сырья содержит перечень компонентов, применяемых в хлебопекарном производстве с указанием химического состава, характеристики и описания процесса подготовки сырья к пуску в производство. При необходимости справочник можно легко дополнить новыми наименованиями сырья. Справочник нормативных документов содержит перечень ГОСТов и ТУ на сырьё, применяемое в производстве, и готовую продукцию. Справочник технологических растворов и полуфабрикатов предназначен для указания состава солевого, сахаросолевого и других растворов, осахаренной заварки и т.д. Данный справочник даёт технологу возможность вносить сырьё в рецептуру как в натуральном виде, так и в виде растворов или полуфабрикатов. Модуль разработки технологических документов предусматривающий непосредственный расчёт рецептур хлебобулочных изделий.

Вышеуказанная программа предназначена только для расчёта рецептур хлебобулочных изделий и не предусматривает решение задач, связанных с оптимизацией рецептурных ингредиентов.

Существует особый класс программ, предназначенных для составления рациона питания различных групп населения. Программный продукт «Вижен-Софт: Питание в детском саду», представленный на сайте <http://www.pitaniesoft.ru/solution/detpitanie/detpitanie.php>, предназначен для автоматизации организации детского питания в дошкольных образовательных учреждениях. Программа содержит справочник продуктов с указанием химического состава (пищевая ценность, витамины и минеральные вещества), обширную картотеку блюд (более 600 наименований) с указанием рецептуры, технологии приготовления и ссылки на сборник рецептов, а также позволяет формировать меню на каждый день, рассчитывать по десятидневному меню требуемое количество продуктов для заказа.

Аналогичные задачи решаются информационно-аналитической системой «АВЕРС: Расчёт меню питания», описание которой дано на сайте <http://umic.ucoz.ru/index/0-12>. Программа предназначена для автоматизации процессов, связанных с планированием и организацией питания в дошкольном образовательном учреждении. Система включает в себя: справочник типовых технологических карт приготовления блюд, составленных в соответствии с действующими нормативными документами, регламентирующими процесс организации питания в дошкольных образовательных учреждениях, справочник продуктов питания, используемых при приготовлении блюд, библиотеку шаблонов типовых периодических меню питания. Информационно-аналитическая система позволяет форми-

ровать меню текущего дня, автоматизировать процесс учёта и расхода продуктов питания, осуществлять мониторинг рациона питания по всем показателям пищевой ценности используемых продуктов, планировать поставки продуктов питания в учреждение, на основании данных табеля посещения учреждения строить возвратное и дополнительное меню.

На сайте <http://www.creative-chef.ru/programma-shef-ekspert> представлена программа «Шеф Эксперт» для разработки технологической документации на продукцию общественного питания, позволяющая составлять технико-технологические карты на блюда и кулинарные изделия, рассчитывать пищевую и энергетическую ценность блюд и кулинарных изделий с учётом потерь пищевых веществ при тепловых обработках.

Описанный выше класс программ представляет собой системы управления базами данных, состоящих из наборов справочных таблиц и позволяющих формировать в автоматическом режиме требуемую отчётную документацию (меню, расход продуктов и др.).

Существующие специализированные пакеты программ для проектирования рецептур продуктов питания делятся на два класса: программы в составе автоматизированных систем управления производством и специализированные программы, предназначенные для выполнения разовых расчётов применительно к определённым видам продовольственных продуктов. Для специализированных пакетов программ, работающих в составе математического обеспечения автоматизированных систем управления производством, характерна чрезмерно высокая стоимость, их внедрение предъявляет повышенные требования к уровню компьютерной подготовки персонала пищевых предприятий. К недостаткам специализированных программ для проектирования рецептур можно отнести ограниченность сведений по альтернативным сырьевым ингредиентам, привязку к офисным программам общего назначения и конкретным видам продовольственных продуктов и недостаточно высокий уровень защиты интеллектуальной собственности. Общим недостатком существующих программных продуктов, применяемых для проектирования рецептур, является отсутствие подсистемы (модуля) оптимизации рецептуры по совокупности критериев пищевой, биологической и энергетической ценности.

## 2. АЛГОРИТМЫ РАСЧЁТА РЕЦЕПТУР ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

### 2.1. РАСЧЁТ РЕЦЕПТУР ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Известна значимость зернопродуктов и хлебобулочных изделий как критериев национальной продовольственной безопасности. Разработанные Роспотребнадзором рационы питания применительно к полу, возрасту, и сфере деятельности в соответствии с нормами сбалансированного питания в обязательном порядке включают хлебобулочные изделия. Например, дневной рацион для мужчины в возрасте 16 – 59 лет предусматривает до 350 г хлебных изделий, а для женщин – 280 г. Употребление хлебобулочных изделий позволяет восполнить часть физиологических и энергетических потребностей человека при сравнительно незначительных материальных затратах. Так, 450 г хлеба из разных сортов муки примерно на треть покрывает потребность в энергии, на 38% потребность в белке, а в отдельных аминокислотах 23...58%, в минеральных веществах и пищевых волокнах – на 20...25%, в витаминах группы В – на 50...60%, витамине Е – на 80%. В питании большей части населения России хлебобулочные изделия являются ежедневно потребляемыми продуктами и поэтому их пищевая ценность имеет первостепенное значение.

Основные направления повышения пищевой ценности хлебобулочных изделий: комплексная переработка зерна – выработка хлеба из муки, смолотой из целого зерна без отбора отрубей, использование отрубей в составе изделий из муки высших сортов; увеличение доли белка и дефицитных аминокислот – лизина и треонина путём включения в рецептуру нетрадиционных белков животного или растительного происхождения; внедрение на хлебопекарных предприятиях производства массовых и специальных сортов хлебобулочных изделий, обогащённых комплексом микронутриентов (витаминами группы В, РР, фолиевой кислотой, микроэлементами – железом, цинком, йодом), с увеличенным содержанием пищевых волокон, путём введения в рецептуру фруктовых и овощных порошков, зародышевых хлопьев, проростков зерна; пшеничных отрубей.

Хлеб из муки высоких выходов почти полностью удовлетворяет потребность организма человека в пищевых волокнах и рекомендуется людям, страдающим сердечно-сосудистыми заболеваниями, атонией кишечника, ожирением, сахарным диабетом, в профилактических целях населения с неблагоприятными условиями проживания.

Производство продукции из готовых мучных смесей позволяет гибко и оперативно решать вопрос расширения ассортимента изделий на их основе, в том числе за счёт эксклюзивных рецептур. На базе одного наименования готовой мучной смеси можно создать несколько рецептур изделий. Готовые мучные смеси, обладающие функциональными свойствами, могут служить дополнением и расширением ассортимента для производи-

телей массовых сортов хлебобулочных изделий, а также способствовать упрощению производства на малых предприятиях.

Биологическая ценность хлебобулочных изделий определяется составом и усвояемостью минеральных веществ. Минеральное голодание является причиной ряда серьёзных заболеваний. Полезен высокоминерализованный хлеб с добавлением отрубей – барвихинский, зерновой, диетический из пшеничной муки, содержащей 20...25% тонкоизмельчённых отрубей, что способствует повышению усвоения минеральных веществ.

Для обогащения хлеба кальцием используют как минеральные добавки – пищевой мел, глюконат кальция, обогатитель минеральный «Кальциевый», так и молочные продукты – сухое обезжиренное молоко, сыворотку. Повышение доли кальция смещает соотношение кальций: фосфор в оптимальную для усвоения этих элементов сторону 1:1,5 до 1:2.

Повысить содержания железа в хлебе с целью применения железодефицитной анемии можно путём изменения помола, либо введением железосодержащих препаратов, получаемых при переработке крови животных.

Для профилактики эндемического зоба целесообразно обогащать хлеб йодом в виде йодоказеина, морской капусты, йодида кальция, специально разработанных обогатителей, составленных из витаминов и минеральных солей.

Предлагаемые разработки по изменению пищевой, биологической ценности хлебобулочных изделий оформляются в виде соответствующих рецептур. На каждый вид изделий в рецептуре указывается 100 кг муки и другие виды сырья помимо муки, выраженные в килограммах (соль, хлебопекарные дрожжи, сахар, жиры, яйцепродукты, молочные продукты и другие виды дополнительного сырья). Количество воды в рецептуре не указывается, а должно устанавливаться расчётными действиями с учётом влажности готового изделия, содержания влаги в муке и других видах сырья. Из каждых 100 кг муки и соответствующих рецептуре количеств основного и дополнительного сырья вырабатывается определённое по массе количество хлебобулочных изделий (выход хлеба), которое имеет установленные нормативными документами (ГОСТ, ТУ) показатели качества и пищевой ценности, в том числе вкус и аромат.

На величину выхода хлеба могут влиять такие факторы как влажность муки и её хлебопекарные свойства, влажность теста, количество и свойства дополнительного сырья, технологические режимы производства. Все расчёты и установление норм выхода хлеба производят на муку влажностью 14,5%. Чем больше влажность муки, тем ниже может быть выход хлеба, и наоборот. Так изменение влажности ржаной обойной муки на 1% соответственно изменяет выход хлеба на 1,6...1,7%.

Снижение выхода хлеба отмечается при использовании дефектной по хлебопекарным свойствам муки, это относится к пшеничной муке из зер-

на, повреждённого клопом-черепашкой, из проросшего зерна, с низким содержанием клейковины. Тесто из такой муки с предельно допустимой влажностью по реологическим свойствам непригодно для механизированной разделки.

На величину выхода хлеба влияют виды и количество дополнительного сырья, предусмотренные рецептурой. Чем больше количество дополнительного сырья, тем больше выход изделия. Однако следует учитывать, что выпуск продукции на хлебопекарном предприятии обязательно производится по рецептурам и отступления от них с заменой одного вида сырья другим или введением дополнительного допускается на основании специальных разрешений.

Увеличение выхода за счёт повышенной влажности теста приводит к снижению энергетической ценности продукта и ущербу интересов потребителя. Такой физико-химический показатель качества хлебобулочных изделий как влажность мякиша (10...20% массы изделия приходится на корку с более низкой влажностью) регламентируется нормативными документами на готовую продукцию. Установлена зависимость между допустимой влажностью теста и влажностью мякиша изделия. В процессе выпечки влажность мякиша немного повышается, а при хранении и остывании – снижается вследствие усушки. Действительная влажность мякиша у остывшего хлеба примерно равна влажности теста. Практикой установлено, что влажность теста оказывает влияние на величину упёка и усушки и превышение влажности теста на 1% может увеличить выход разных сортов изделий на 2...3,5%. Поэтому влажность теста – показатель, обязательно контролируемый лабораторией предприятия. Значение влажности теста в значительной мере не только определяет выход хлеба, но и достаточно точно соответствует будущей влажности мякиша.

При освоении новых сортов продукции, новой технологии для определения качественных показателей используют «Инструкции по нормированию расхода муки (выходу хлеба) в хлебопекарной промышленности». Один из важных показателей производства – выход хлеба, который обуславливается выходом теста, технологическими затратами и потерями.

Исходными данными для расчёта выхода хлеба являются: наименования компонентов рецептуры, их масса и влажность. Алгоритм расчёта рецептур хлебобулочных изделий состоит в следующем.

Шаг 1. Определяем суммарную массу сырья, израсходованного на приготовление теста из 100 кг муки по рецептуре:

$$M_c = \sum_{i=1}^n m_i ,$$

где  $m_i$  – дозировка  $i$ -го сырьевого компонента (кроме воды).



Шаг 2. Определяем средневзвешенную влажность сырья (%):

$$W_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n W_i m_i}{M_{\text{с}}},$$

где  $W_i$  – влажность  $i$ -го сырьевого компонента, %.

Шаг 3. Определяем величину затрат сухого вещества на брожение:

$$З_{\text{бр}} = \frac{C_{\text{сух}} 0,95 (M_{\text{с}} - m_{\text{р}}) (100 - W_{\text{ср}})}{1,96 \cdot 100 (100 - W_{\text{т}})},$$

где 0,95 – коэффициент пересчёта количества углекислого газа; 1,96 – коэффициент пересчёта количества спирта в сахар, затраченного на брожение;  $C_{\text{сух}}$  – расход сухих веществ на брожение (для формового хлеба из ржаной обойной муки на густых заквасках 2,13...3,17%, для подового пшеничного хлеба из муки 1 сорта – 2,3%);  $m_{\text{р}}$  – расход муки при разделке теста на 100 кг муки;  $W_{\text{т}}$  – влажность теста.

Шаг 4. Определяем величину затрат муки на разделку теста:

$$З_{\text{разд}} = \frac{q_{\text{разд}} (W_{\text{т}} - W_{\text{м}})}{100 - W_{\text{т}}},$$

где  $q_{\text{разд}}$  – потери муки, которая расходуется на посыпку заготовок подового хлеба и булочных изделий во избежание прилипания теста к рабочим поверхностям оборудования (для хлеба пшеничного подового муки 1 сорта – 0,7%, для батонов нарезных из муки 1 сорта – 0,6%);  $W_{\text{м}}$  – фактическая влажность муки, %.

Шаг 5. Находим массу упёка:

$$q_{\text{уп}} = \frac{(q_{\text{т.з}} - q_{\text{т.хл}}) \cdot 100}{q_{\text{т.з}}},$$

где  $q_{\text{т.з}}$  – масса тестовой заготовки в момент посадки её в печь;  $q_{\text{т.хл}}$  – масса готового изделия в момент извлечения его из печи.

Шаг 6. Определяем потери муки от приёма до замешивания полуфабрикатов:

$$\Pi_{\text{м}} = q_{\text{м}} \frac{100 - W_{\text{м}}}{100 - W_{\text{т}}},$$

где  $q_{\text{м}}$  – потери муки на 100 кг муки при приёмке, хранении и прохождении по мучным линиям, из отходов с просеивающих устройств (определяются не реже 1 раза в квартал).  $\Pi_{\text{м}}$  составляет при тарном хранении муки 0,11%, при бестарном – 0,03%.

Шаг 7. Определяем величину затрат на упёк:

$$З_{\text{уп}} = \frac{q_{\text{уп}}[G_{\text{T}} - (\Pi_{\text{M}} + \Pi_{\text{T.мех}} + З_{\text{бр}} + З_{\text{разд}})]}{100},$$

где –  $G_{\text{T}}$  – выход теста, кг,  $G_{\text{T}} = \frac{M_{\text{с}} \cdot 100 - W_{\text{ср}}}{100 - W_{\text{T}}}$ ;  $\Pi_{\text{T.мех}}$  – механические потери теста и муки при приготовлении и разделке теста, принимаются в пределах от 0,03 до 0,05%.

Шаг 8. Определяем величину затрат на усыхание:

$$З_{\text{ус.общ}} = \frac{q_{\text{ус.общ}}[q_{\text{T}} - (\Pi_{\text{M}} + \Pi_{\text{T.мех}} + З_{\text{бр}} + З_{\text{разд}} + З_{\text{уп}})]}{100},$$

где  $q_{\text{ус.общ}} = q_{\text{укл}} + q_{\text{ус}}$  (показатель усушки, отражающий общую массу усушки к массе изделия в момент выхода его из печи);  $q_{\text{укл}}$  – находится в пределах 0,54...0,93% (можно принять среднее значение 0,7%);  $q_{\text{ус}}$  – находится в пределах 3,4...4%;  $q_{\text{T}}$  – выход теста, %.

Шаг 9. Находим потери в виде крошки и лома ( $\Pi_{\text{кр}}$ ), возникающие при выбивки изделий из форм, при транспортировании и укладке на лотки, вагонетки. Часть теряется в виде отходов непригодных для переработки по санитарному состоянию. Масса этих потерь в процентах  $q_{\text{кр}}$  для расчётов принята – 0,02% (для ржаного хлеба) и 0,03% (для пшеничного хлеба):

$$\Pi_{\text{кр}} = \frac{q_{\text{кр}}[q_{\text{T}} - (\Pi_{\text{M}} + \Pi_{\text{T.мех}} + З_{\text{бр}} + З_{\text{разд}} + З_{\text{ус.общ}})]}{100}.$$

Шаг 10. Находим потери муки и теста от замачивания до посадки в печь:

$$\Pi_{\text{T}} = \Pi_{\text{тест}} + \Pi_{\text{разд}} + \Pi_{\text{кр}},$$

где  $\Pi_{\text{тест}} = q_{\text{тест}} \frac{100 - W_{\text{M}}}{100 - W_{\text{T}}}$  – потери по тесторазделочному отделению;

$\Pi_{\text{разд}} = q_{\text{разд}} \frac{100 - W_{\text{M}}}{100 - W_{\text{T}}}$ ;  $q_{\text{тест}}$ ,  $q_{\text{разд}}$  – соответствующие потери по тестомесительному и тесторазделочному отделению, %.

Шаг 11. Находим величину потерь от неточности штучных изделий:

$$\Pi_{\text{шт}} = q_{\text{шт}}[q_{\text{T}} - (\Pi_{\text{M}} + \Pi_{\text{T.мех}} + З_{\text{бр}} + З_{\text{разд}} + З_{\text{уп}} + \Pi_{\text{кр}} + З_{\text{ус.общ}})]/100,$$

где  $q_{\text{шт}}$  – можно принять 0,4% (для изделий из ржаной муки) и 0,5% (для изделий из пшеничной муки).

Шаг 12. Рассчитываем выход хлебобулочных изделий:

$$V_{\text{хл}} = G_{\text{т}} - (P_{\text{м}} + P_{\text{т.мех}} + Z_{\text{бр}} + Z_{\text{разд}} + Z_{\text{уп}} + Z_{\text{ус.общ}} + P_{\text{кр}} + P_{\text{шт}} + P_{\text{брак}}),$$

где  $P_{\text{брак}}$  – величина потерь при переработке бракованных готовых изделий, принимается равной 0,02%.

Вышеизложенный алгоритм для расчёта выхода хлебобулочных изделий может быть реализован в программе для работы с электронными таблицами MS Excel.

## 2.2. РАСЧЁТ 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.

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 [15].

### Алгоритм расчёта однофазных рецептур

В таблице 1 в общем виде представлены исходные данные, формулы для расчёта однофазных рецептур и результаты расчётов [15].

Исходные данные для расчёта заносятся в графы 1 – 3 вышеуказанной таблицы. Перечень компонентов сырья и готовых полуфабрикатов заносится в графу 1. Содержание сухих веществ 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  $H_{\text{в}}^T$  – заданное количество готовой продукции равное 1000 кг. Цифры таблицы 1), 2) и т.д. показывают порядок расчёта. Алгоритм расчёта однофазных рецептур в соответствии с данными табл. 1 состоит в следующем.

Шаг 1. Определяем  $C_n^3$  – расход компонентов на загрузку в сухом веществе.

## 1. Обобщённое представление данных для расчёта однофазных рецептур

Наименование сырья и полуфабрикатов	Содержание сухих веществ, %	Расход сырья			
		на загрузку (или на 1г полуфабриката)	на заданное количество готовой продукции (полуфабриката)		
		в натуре	в сухих веществах	в натуре	
Сырьё или полуфабрикат 1	$S_1$	$H_1^3$	$1) C_1^3 = \frac{H_1^3 S_1}{100}$	9) $H_1^T = \frac{C_1^T \cdot 100}{S_1}$	8) $C_1^T = C_1^3 K^H$
Сырьё или полуфабрикат 2	$S_2$	$H_2^3$	$C_2^3 = \frac{H_2^3 S_2}{100}$	$H_2^T = \frac{C_2^T \cdot 100}{S_2}$	$C_2^T = C_2^3 K^T$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Сырьё или полуфабрикат $n$	$S_n$	$H_n^3$	$C_n^3 = \frac{H_n^3 S_n}{100}$	$H_n^T = \frac{C_n^T \cdot 100}{S_n}$	$C_n^T = C_n^3 K^H$
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) $C_n^T = \frac{C_n^T \cdot 100}{100 - P^c}$
Выход готового изделия или полуфабриката	$4) S_r = \frac{C_n^3 \cdot 100}{H_n^3}$			$H_B^T$	5) $C_B^T = \frac{H_B^T S_r}{100}$
Потери сухого вещества	$P^c$				10) $\Pi_c^T = \sum_{i=1}^n C_i^T$
Коэффициент пересчёта				7) $K^H = \frac{C_n^T}{C_n^3}$	

Шаг 2. Суммируя  $C_n^3$ , получаем  $C_{и}^3$  – итог расхода сырья на загрузку в сухом веществе.

Шаг 3. Аналогично суммируя  $H_n^3$ , получаем  $H_{и}^3$  – итог расхода сырья на загрузку в натуре.

Шаг 4. Рассчитываем содержание сухих веществ в готовом изделии  $S_{г}$ .

Шаг 5. Зная  $H_{в}^T$  – заданный выход готовой продукции в натуре (в данном случае он равен 1000 кг, поскольку расчёт ведётся на одну тонну готовой продукции) и содержание сухих веществ в готовом изделии  $S_{г}$ , находим выход готового изделия в сухом веществе  $C_{в}^T$ .

Шаг 6. Зная потери сухого вещества  $P^c$  и выход готового изделия в сухом веществе  $C_{в}^T$ , определяем  $C_{и}^T$  – расход всех компонентов в сухом веществе на приготовление одной тонны готовых изделий.

Шаг 7. Находим  $K^H$  – коэффициент пересчёта, который показывает, во сколько раз следует увеличить количество сырья в сухих веществах, предназначенное для загрузки, чтобы получить расход на 1 т изделий. В данном случае коэффициент  $K^H$  находят делением найденного итога затрат (в сухих веществах) –  $C_{и}^T$ , на суммарное количество сухих веществ, рассчитанное на загрузку –  $C_{и}^3$ .

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

Шаг 9. По найденным значениям  $C_n^T$  получаем расход всех компонентов в натуре  $H_n^T$  на приготовление 1 т готового изделия.

Шаг 10. Проверяем правильность расчёта сопоставлением суммы расхода всех компонентов в сухих веществах с ранее полученным итогом затрат  $C_{и}^T$ .

### **Алгоритм расчёта многофазных рецептур кондитерских изделий**

При проектировании рецептур пищевых продуктов обычно определяют расход сырья на 1 т каждого полуфабриката и находят количество каждого вида сырья на часть полуфабриката, расходуемого на изготовле-

ние 1 т готового изделия. В заключение рассчитывают суммарное количество сырья на 1 т готового изделия с учётом предельно-допустимых потерь сухого вещества. Форма записи рецептуры представляет собой набор унифицированных таблиц, в которых производится расчёт расхода компонентов для каждой стадии производства продовольственного продукта. Набор таблиц снабжается единой заключительной таблицей сводного расхода сырья на изделие в целом.

Алгоритм расчёта состоит в следующем [15].

Шаг 1. Определяем расход компонентов на загрузку в сухих веществах по формуле  $C_n^3 = \frac{H_n^3 S_n}{100}$ .

Шаг 2. Рассчитываем итог расхода сырья на загрузку в сухих веществах  $C_{\text{и}}^3 = \sum_{i=1}^n C_i^3$ .

Шаг 3. Рассчитываем итог расхода сырья на загрузку в натуральном выражении  $H_{\text{и}}^3 = \sum_{i=1}^n H_i^3$ .

Шаг 4. Рассчитываем содержание сухих веществ в готовом изделии  $S_{\text{г}} = \frac{C_{\text{и}}^3 \cdot 100}{H_{\text{и}}^3}$ .

Шаг 5. Находим выход готового изделия в сухих веществах  $C_{\text{в}}^{\text{т}} = \frac{H_{\text{в}}^{\text{т}} S_{\text{г}}}{100}$ .

Шаг 6. Определяем расход всех компонентов в сухих веществах на приготовление 1 т готовых изделий  $C_{\text{и}}^{\text{т}} = \frac{C_{\text{в}}^{\text{т}} \cdot 100}{100 - P^{\text{с}}}$ .

Шаг 7. Находим коэффициент пересчёта  $K^{\text{н}} = \frac{C_{\text{и}}^{\text{т}}}{C_{\text{и}}^3}$ , который показывает, во сколько раз следует увеличить количество сырья в сухих веществах, чтобы получить расход сырья на 1 т готового изделия (в случае однофазной рецептуры) или 1 т полупродукта, в противном случае.

Шаг 8. С использованием коэффициента пересчёта  $K^{\text{н}}$  получаем расход всех компонентов в сухих веществах на приготовление 1 т готового изделия  $C_n^{\text{т}} = C_n^3 K^{\text{н}}$ .

Шаг 9. По найденным значениям  $C_n^T$  получаем расход всех компонентов в натуре на приготовление 1 т готового изделия  $H_n^T = \frac{C_n^T \cdot 100}{S_n}$ .

Шаг 10. Рассчитываем итог расхода сырья на заданное количество готовой продукции в натуральном выражении  $H_i^T = \sum_{i=1}^n H_i^T$ .

Шаг 11. С точностью до двух знаков проверяем правильность расчёта сопоставлением суммы расхода всех компонентов в сухих веществах с ранее полученным итогом затрат  $C_i^T$  по формуле  $\Pi_c^T = \sum_{i=1}^n C_i^T$ . Если сов-

падения не обнаружено, находим разность между  $C_i^T$  и  $\Pi_c^T$ , а затем корректируем второй знак путём прибавления найденной разности к расходу сырьевого ингредиента, доминирующего в рецептуре.

Итоги расчёта представляются в виде унифицированной таблицы рецептуры (табл. 2) [16], которая содержит три расчётных графы: расход сырья на загрузку, расход сырья на 1 т фазы, расход сырья на 1 т готовой продукции.

Исходные данные для расчёта заносятся в графы 1 – 3 вышеуказанной таблицы. Перечень компонентов сырья и готовых полуфабрикатов отображается в графе 1. Содержание сухих веществ в сырье и готовых полуфабрикатах  $S_n$  заносится в графу 2. Расход на загрузку всех видов сырья и готовых полуфабрикатов в натуральном выражении  $H_n^3$  заносится в графу 3; потери сухого вещества  $P^c$  – в соответствующей строке графы 1. В графах таблицы приведены расчётные формулы, цифры 1), 2) и т.д. показывают порядок расчёта. Строка «Выход» граф 5 и 6 ( $H_B^T$  и  $C_B^T$  соответственно) заполняется на основании ранее полученных расчётных данных ( $H_i^T$  и  $C_i^T$ ) соответствующего полуфабриката.

Таким образом, специфика расчёта рецептур многокомпонентных пищевых систем состоит в том, что все расчётные данные связаны между собой. Так, расчётное значение расходных норм полуфабриката для получения 1 т готовой продукции используется в дальнейшем как заданный выход соответствующего полуфабриката.

## 2. Обобщённое представление данных для расчёта рецептуры кондитерских изделий

Наименование сырья и полуфабрикатов	Массовая доля сухих веществ, %	Расход сырья, кг					
		на загрузку		на I т фазы		на фазу для I т готовой продукции	
		в натуре	в сухих веществах	в натуре	в сухих веществах	в натуре	в сухих веществах
Сырьё или полуфабрикат 1	$S_1$	$H_1^3$	$C_1^3 = \frac{H_1^3 S_1}{100}$	$H_1^T = \frac{C_1^T \cdot 100}{S_1}$	$C_1^T = C_1^3 K_1^H$	12) $H_1^\Phi = H_1^3 K_2^H$ 14) $C_1^\Phi = \frac{H_1^\Phi S_1}{100}$	
Сырьё или полуфабрикат 2	$S_2$	$H_2^3$	$C_2^3 = \frac{H_2^3 S_2}{100}$	$H_2^T = \frac{C_2^T \cdot 100}{S_2}$	$C_2^T = C_2^3 K_1^T$	$H_2^\Phi = H_2^3 K_2^H$ $C_2^\Phi = \frac{H_2^\Phi S_1}{100}$	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
Сырьё или полуфабрикат n	$S_n$	$H_n^3$	$C_n^3 = \frac{H_n^3 S_n}{100}$	$H_n^T = \frac{C_n^T \cdot 100}{S_n}$	$C_n^T = C_n^3 K_1^H$	$H_n^\Phi = H_n^3 K_2^H$ $C_n^\Phi = \frac{H_n^\Phi S_1}{100}$	
Итого: сырьё и полуфабрикаты		3) $H_{\text{и}}^3 = \sum_{i=1}^n H_i^3$	2) $C_{\text{и}}^3 = \sum_{i=1}^n C_i^3$	10) $H_{\text{и}}^T = \sum_{i=1}^n H_i^T$	6) $C_{\text{и}}^T = \frac{C_{\text{и}}^T \cdot 100}{100 - P^c}$	13) $H_{\text{и}}^\Phi = \sum_{i=1}^n H_i^\Phi$ 15) $C_{\text{и}}^\Phi = \sum_{i=1}^n C_i^\Phi$	
Выход готового изделия или полуфабриката	4) $S_r = \frac{C_{\text{и}}^3 \cdot 100}{H_{\text{и}}^3}$	6) $H_{\text{в}}^3 = \frac{C_{\text{в}}^3 \cdot 100}{S_r}$	5) $C_{\text{в}}^3 = \frac{C_{\text{и}}^3 (100 - P^c)}{100}$	$H_{\text{в}}^T$	$C_{\text{в}}^T$	17) $H_{\text{в}}^\Phi = \frac{C_{\text{в}}^\Phi \cdot 100}{S_{\text{в}}}$ 16) $C_{\text{в}}^\Phi = \frac{C_{\text{и}}^\Phi \cdot 100}{100 - P^c}$	
Потери сухого вещества	$P^c$				18) $\Gamma_{\text{с}}^T = \sum_{i=1}^n C_i^T$	19) $\Gamma_{\text{с}}^\Phi = \sum_{i=1}^n C_i^\Phi$	
Коэффициент пересчёта 1				7) $K_1^H = \frac{C_{\text{и}}^T}{C_{\text{и}}^3}$			
Коэффициент пересчёта 2				11) $K_2^H = \frac{H_{\text{и}}^T}{H_{\text{и}}^3}$			



### 2.3. РАСЧЁТ РЕЦЕПТУР ПЛАВЛЕННЫХ СЫРОВ

В сегменте функциональных пищевых продуктов значительную долю занимает молочная продукция, которая имеет важное медико-биологическое значение в питании разных групп населения. Для этой категории продуктов характерен комбинированный состав компонентов как молочного, так и растительного происхождения. Согласно новому технологическому регламенту на молочную продукцию, такого рода продукты называют молочными составными, молокосодержащими. К этой группе относятся некоторые виды плавленых сыров и плавленые сырные продукты, рецептуры которых предусматривают присутствие растительных жиров, добавок растительного происхождения.

Плавленый сыр или сырный продукт – пищевые изделия, изготавливаемые термомеханической обработкой смеси из твёрдых сыров, творога, жиров в присутствии солей плавителей или структурообразователей.

К основным факторам, влияющим на потребительские достоинства конечного продукта, вырабатываемого в соответствии с приведённой схемой, следует отнести степень зрелости исходных сыров и их соотношение в смеси, активная кислотность сырья, вид и количество эмульгирующей соли-плавителя, температура плавления и интенсивность механической обработки.

Оптимальная величина pH для плавления 5,5...5,7. Величина pH смеси обеспечивается активной кислотностью отдельных компонентов. Она влияет на консистенцию сырной массы и процесс ионообмена. Если активная кислотность смеси будет излишне кислой, то масса сыра получится плотной. В случае щелочной среды консистенция продукта получится жидкой и будут наблюдаться нерасплавленные частицы сырья.

Для расчёта средневзвешенной величины pH смеси пользуются формулой:

$$\text{pH смеси} = \frac{\text{pH}_1 k_1 + \text{pH}_2 k_2 + \dots + \text{pH}_n k_n}{\sum_{i=1}^n k_i},$$

где  $\text{pH}_i$  – активная кислотность отдельных компонентов;  $k_i$  – количество компонентов в смеси.

Изменение pH можно добиться количеством соли-плавителя и корректирующих добавок. Так как основным сырьём являются жирные и обезжиренные сычужные сыры, то для обеспечения нормального процесса плавления и требуемых показателей качества готового продукта особое внимание следует уделять подбору сырья: по степени зрелости, активной кислотности, органолептическим показателям. Например, для получения ломтевого сыра с удлинённой структурой требуется 60% молодого, 30% среднезрелого и 10% зрелого сыра. В стандартных рецептурах плавленых

сыров ломтевой группы предусмотрено использование: нежирного творога от 5 до 15%, сухой сыворотки от 0,8 до 20%, сухого молочного продукта до 3%; большой объём занимают сыры с массовой долей жира 20% в СВ (8% абсолютного), при этом содержание белка – 24,7%.

Правильный подбор сырьевых компонентов – важный фактор, определяющий свойства готового продукта для определённой рецептуры плавленного сыра. Расчёт «рабочей» рецептуры плавленного сыра производят исходя из норм расхода сырья на тонну плавленного сыра и химического состава сырья – количества сухих веществ, жира, для требуемой влажности и жирности готового продукта, согласно действующим технологическим инструкциям.

Вначале определяют примерные соотношения компонентов смеси сычужных жирных сыров, нежирного сыра и других молочных компонентов с учётом потерь, заложенных в рецептурах. На следующем этапе рассчитывают количество сухих веществ и массовую долю жира в каждом виде сырья, определяя в конечном итоге количество жира и сухих веществ, которое надо отнять или прибавить.

Исходными данными для расчёта являются: выход готовой продукции  $G$  (кг), производственные потери  $\Pi$  (%), массовая доля влаги в готовом продукте  $x_{\text{в}}^{\text{H}}$  (%), массовая доля сухих веществ  $x_{\text{св}}^{\text{H}}$  (кг), массовая доля жира в массе сухих веществ готового продукта  $x_{\text{ж}}^{\text{H}}$  (%), фактическая массовая доля для каждого компонента  $x_{\text{св}}^{\Phi}$  (%), фактическая массовая доля жира для каждого компонента  $x_{\text{ж}}^{\Phi}$  (%).

В таблице 3 в общем виде представлены исходные данные, формулы для расчёта рецептур для производства плавленных сыров. Цифры таблицы 1), 2) и т.д. показывают порядок расчёта.

Алгоритм расчёта рецептур для производства плавленных сыров в соответствии с данными табл. 3 состоит в следующем.

Шаг 1. Рассчитать количество смеси с учётом производственных потерь

$$K = G \left( 1 + \frac{\Pi}{100} \right).$$

Шаг 2. Определить количество сухих веществ в смеси по норме

$$C_{\text{см}}^{\text{H}} = \frac{K x_{\text{св}}^{\text{H}}}{100}.$$

Шаг 3. Определить количество жира по норме  $J_{\text{см}}^{\text{H}} = \frac{C_{\text{см}}^{\text{H}} x_{\text{ж}}^{\text{H}}}{100}$ .

Шаг 4. Рассчитать количество сухих веществ в каждом из компонен-

тов  $C_i^{\text{H}} = \frac{K_i x_{\text{св}_i}^{\text{H}}}{100}$ .

### 3. Обобщённое представление данных для расчёта рецептуры плавленых сыров

Наименование сырья и полуфабрикатов	Масса, кг		Содержание сухих веществ				Уточнённая масса, кг	Содержание жира				
	по норме		по факту		кол-во, кг	масс. доля, %		по норме		по факту		
	масс. доля, %	кол-во, кг	масс. доля, %	кол-во, кг				масс. доля, %	кол-во, кг			
Сырёе или полуфабрикат 1	$K_1^H$	$C_1^H$	$x_{св1}^\phi$	$C_1^\phi$	$C_1^\phi$	$x_{св1}^\phi$	$K_1^\phi$	$x_{ж1}^H$	$J_1^H$	$x_{ж1}^\phi$	$J_1^\phi$	8) $J_1^\phi$
Сырёе или полуфабрикат 2	$K_2^H$	$C_2^H$	$x_{св2}^\phi$	$C_2^\phi$	$C_2^\phi$	$x_{св2}^\phi$	$K_2^\phi$	$x_{ж2}^H$	$J_2^H$	$x_{ж2}^\phi$	$J_2^\phi$	$J_2^\phi$
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Сырёе или полуфабрикат $n$	$K_n^H$	$C_n^H$	$x_{свn}^\phi$	$C_n^\phi$	$C_n^\phi$	$x_{свn}^\phi$	$K_n^\phi$	$x_{жn}^H$	$J_n^H$	$x_{жn}^\phi$	$J_n^\phi$	$J_n^\phi$
Сыр нежирный	$K_{нс}^H$	$C_{нс}^H$	$x_{нс}^\phi$	$\Delta C$	$\Delta C$	$x_{нс}^\phi$	$K_{нс}^\phi$	—	—	—	—	—
Жиродержащий компонент	$K_M^H$	$C_M^H$	$x_M^\phi$	$C_M^\phi$	$C_M^\phi$	$x_M^\phi$	$K_M^\phi$	$x_{жM}^H$	$J_M^H$	$x_{жM}^\phi$	$J_M^\phi$	9) $\Delta J$
Вода	$K_B^H$	—	—	—	—	—	$K_B^\phi$	—	—	—	—	—
Сырная смесь	1) $K$	2) $C_{см}^H$	$x_{св}^H$	15) $C_{см}^\phi$	$C_{см}^\phi$	—	16) $K_{см}^\phi$	$x_{ж}^H$	3) $J_{см}^H$	—	—	17) $J_{см}^\phi$
Выход готового изделия	$G$											

Шаг 5. Определить количество жира, вводимое с каждым из компонентов смеси  $\mathcal{Ж}_i^H = \frac{C_i^H x_{\mathcal{Ж}_i^H}}{100}$ .

Шаг 6. Рассчитать количество сухих веществ в компоненте по фактическим данным  $C_i^\Phi = \frac{K_i^H x_{\text{св}_i}^\Phi}{100}$ .

Шаг 7. Рассчитываем количество массы  $i$ -го компонента, которое следует внести фактически  $K_i^\Phi = K_i^H - \frac{(C_i^\Phi - C_i^H) \cdot 100}{x_{\text{св}_i}^\Phi}$ .

Шаг 8. Определить количество жира, вводимого с рецептурными компонентам  $\mathcal{Ж}_i^\Phi = \frac{C_i^\Phi x_{\mathcal{Ж}_i^\Phi}}{100}$ .

Шаг 9. Определить недостающее количество жира

$$\Delta \mathcal{Ж} = \mathcal{Ж}_{\text{см}}^H - \sum_{i=1}^n \mathcal{Ж}_i^\Phi.$$

Шаг 10. Определить расход жиросодержащего компонента

$$K_M = \frac{\Delta \mathcal{Ж} \cdot 100}{x_{\mathcal{Ж}_M}^\Phi}.$$

Шаг 11. Рассчитать количество сухих веществ, вводимое с жиросодержащим компонентом

$$C_M^\Phi = \frac{K_M x_M^\Phi}{100}.$$

Шаг 12. Найти разницу между общим количеством сухих веществ по норме и количеством сухих веществ, введённых с компонентами:

$$\Delta C = C_{\text{см}}^H - \left( \sum_{i=1}^n C_i^\Phi + C_M \right).$$

Шаг 13. Определить количество нежирного сыра для составления сырной смеси  $K_{\text{нс}}^\Phi = \frac{\Delta C \cdot 100}{x_{\text{нс}}^\Phi}$ .

Шаг 14. Рассчитать количество воды для приготовления сырной смеси  $K_B^\Phi = K - \left( \sum_{i=1}^n C_i^\Phi + C_M + \Delta C \right)$ .

Шаг 15. Находим  $C_{\text{см}}^\Phi = \sum_{i=1}^n C_i^\Phi + \Delta C + C_M^\Phi$ .

Шаг 16. Находим  $K_{\text{см}}^{\phi} = \sum_{i=1}^n K_i^{\phi} + K_{\text{нс}}^{\phi} + K_{\text{м}} + K_{\text{в}}^{\phi}$ .

Шаг 17. Находим  $Ж_{\text{см}}^{\phi} = \sum_{i=1}^n Ж_i^{\phi} + \Delta Ж$ .

Представленный алгоритм реализован в компьютерная программе «CheesePro 1.0», предназначенной для расчёта рецептов типовых плавляемых сыров [9].

### **3. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ НОВЫХ РЕЦЕПТУР**

#### **3.1. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА НЕЧЁТКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ**

Среди работ, посвящённых математическому моделированию рецептов и технологических режимов приготовления продуктов питания [1, 12], наряду с традиционными регрессионными моделями используется современный математический аппарат нейронных сетей [28] и систем с нечётким выводом [10]. Неоспоримым преимуществом систем с нечётким выводом является также 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 [3]: 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; вычислении значений истинности для предпосылок каждого из предикатных правил; композиции нечётких подмножеств, назначенных для каждой входной переменной; приведения к чёткости (дефаззификация) в случае необходимости получения числового ответа.

Преимущества использования систем с нечётким логическим выводом особенно ярко проявляются при проектировании рецептур многокомпонентных пищевых продуктов, качество которых оценивается по результатам сенсорного анализа. Накапливается опыт использования аппарата нечеткой 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 графическое окно, показанное на рис. 4.

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

3. Переименуем первую входную переменную. Для этого сделаем один щелчок левой кнопкой мыши на блоке **input1**, введём новое обозначение для концентрации рецептурных ингредиентов «**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**>.

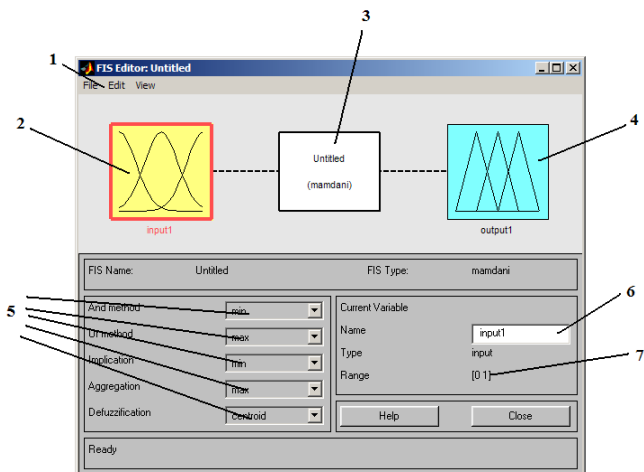
5. Переименуем выходную переменную. Для этого сделаем один щелчок левой кнопкой мыши на блоке **output1**, введём новое обозначение для оценки органолептических показателей «**organoleptica**» в поле редактирования имени текущей переменной и нажмём <**Enter**>.

6. Зададим имя системы. Для этого выбираем в подменю **Export** (меню **File**) 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**» (рис. 5).

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

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

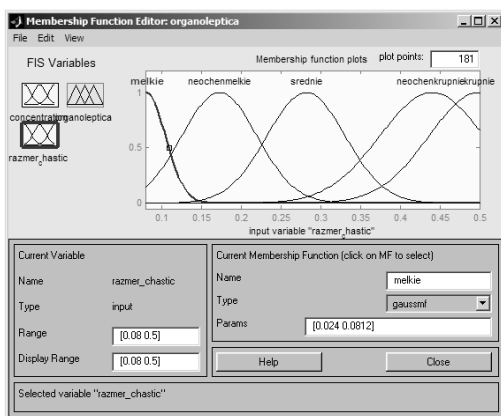


**Рис. 4. Окно редактора FIS-Editor:**

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

диалоговое окно выбора типа и количества функций принадлежности. Выбираем тип функции принадлежности **gaussmf**, количество – 5, нажимаем **<Enter>**.

10. Зададим наименования термов переменной «razmer\_chastic». Для этого делаем один щелчок левой кнопкой мыши по графику первой функции принадлежности (рис. 5). Затем вводим наименование термина 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 термина в поле **Name**



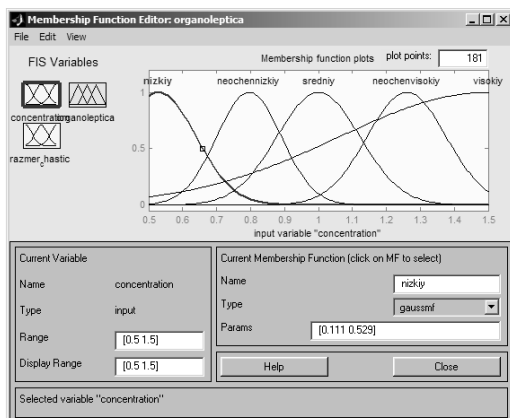
**Рис. 5. Функции принадлежности переменной «razmer\_chastic»**

для не очень мелких частиц, например, «**neochenmelkie**» и нажимаем <Enter>. Ещё раз делаем один щелчок левой кнопкой мыши по графикам третьей, четвёртой 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. 5.

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** (рис. 6) 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>.

12. По аналогии с пунктом 10 зададим следующие наименования термов переменной «**concentration**»: низкая – «**nizkiy**», не очень низкая – «**neochennizkiy**», средняя – «**sredniy**», не очень высокая – «**neochenvisokiy**», высокая – «**visokiy**». В результате получим графическое окно, изображённое на рис. 6.

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** (рис. 7) и нажмём



**Рис. 6. Функции принадлежности переменной «concentration»**



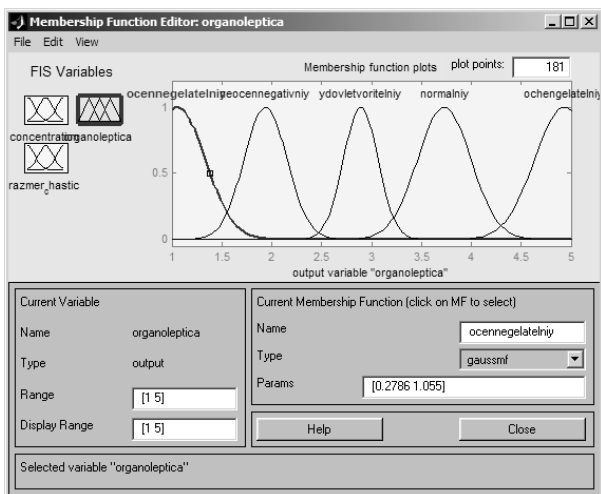


Рис. 7. Функции принадлежности переменной «organoleptica»

<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 «**ocennegelatelnij**», не очень желательная «**neocennegativnij**», удовлетворительная «**ydovletvoritelnyj**», нормальная – «**normalnij**», очень желательная – «**ochengelatelnyj**». В результате получим графическое окно, изображённое на рис. 7.

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 желательная; 13) если концентрация не очень низкая, то органолептика очень желательная; 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 8 изображено окно редактора базы знаний после ввода всех 15 правил. Число, приведённое в скобках в конце каждого правила, представляет собой весовой коэффициент соответствующего правила.

17. Сохраним созданную систему. Для этого выбираем в подменю **Export** (меню **File**) 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. 9). На рисунке 9 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 последова-

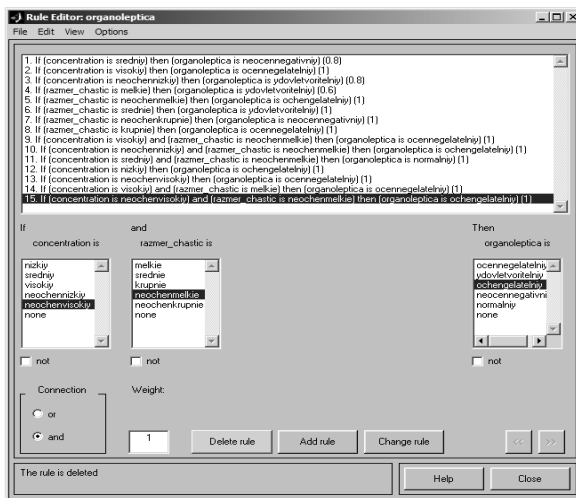
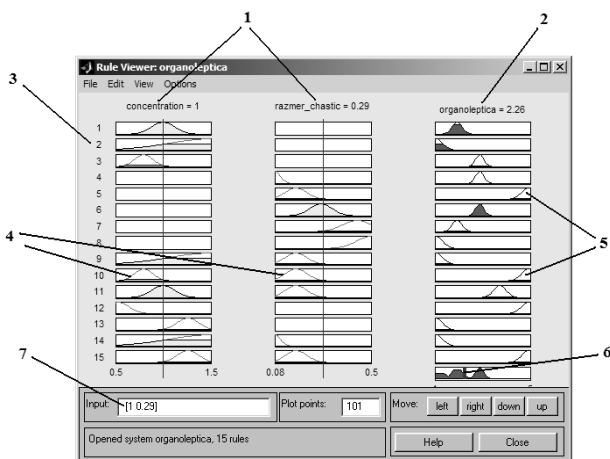


Рис. 8. База знаний в RuleEditor

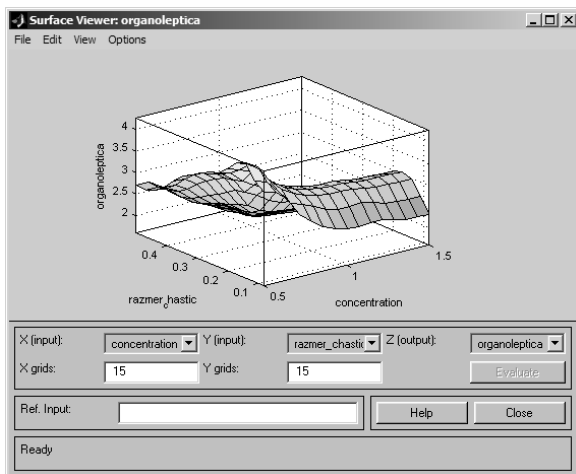


**Рис. 9. Визуализация нечёткого логического вывода в Rule Viewer:**

- 1 – наименования входных переменных (сахар, патока, пищевые волокна) и их значения; 2 – наименование выходной переменной и результата 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

тельности горизонтально расположенных прямоугольников. Заливка графиков функций принадлежности входных переменных демонстрирует степень соответствия значений на входе сформулированным правилам. 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.

Результаты моделирования удобно представлять в графическом виде с использованием модуля **Surface Viewer** (рис. 10). Он визуализирует зависимость любой выходной переменной от одной или двух входных переменных. Для вывода этого окна необходимо использовать команду **View surface** меню **View**.



**Рис. 10. 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.

### 3.2. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННО-СЕТЕВОГО ПОДХОДА ДЛЯ УСТАНОВЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО КОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

Для обработки результатов эксперимента при моделировании технологических процессов в пищевой промышленности хорошо зарекомендовал себя метод нейронно- сетевого подхода [3], подразумевающего создание и использование искусственной нейронной сети (НС). В состав математического пакета MatLab входит пакет Neural Networks Toolbox (нейронные сети), который содержит средства для проектирования, моделирования, обучения и использования аппарата искусственных нейронных сетей. В качестве основных этапов реализации нейронно- сетевого подхода для решения множества разнообразных задач можно выделить:

- 1) подготовку данных для тренировки сети;
- 2) создание сети;
- 3) обучение сети;
- 4) тестирование сети;
- 5) моделирование сети (использование сети для решения конкретной задачи).

Рассмотрим пример использования нейронно-сетевого подхода для установления оптимального рецептурного состава сырного продукта.

На основании полученных экспериментальных данных (табл. 4) по изучению зависимости балловой оценки консистенции от содержания тыквенного пюре и отношения влаги к сухому обезжиренному веществу (В/СОВ) в рецептурной смеси сырного продукта требуется построить поверхность отклика, отображающую изменение целевой функции при варьировании входных параметров.

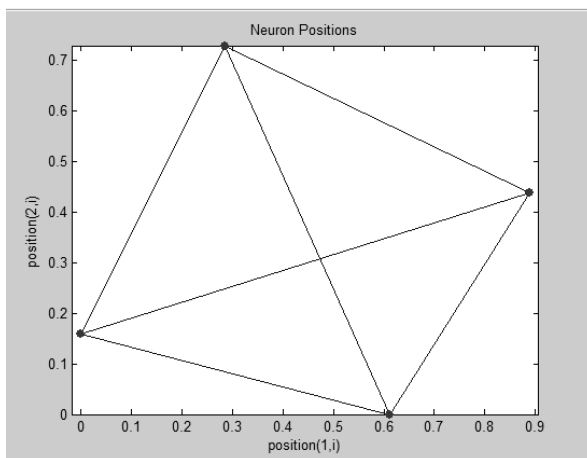
#### 4. Результаты балловой оценки консистенции опытных образцов

Пюре, % \ В/СОВ	В/СОВ				
	1,17	1,26	1,36	1,81	2,0
20	4	4	5	5	3
22	3	4	6	4	4
25	4	5	6	4	3
28	4	6	7	6	4
30	4	6	8	8	5

Для обучения НС был сформирован массив входных векторов  $x_i$  ( $x_1$  – массовая доля тыквенного пюре в рецептурной смеси;  $x_2$  – отношения В/СОВ, соответствующие значениям целевой функции  $y$  – балловой оценки консистенции сырного продукта (табл. 4).

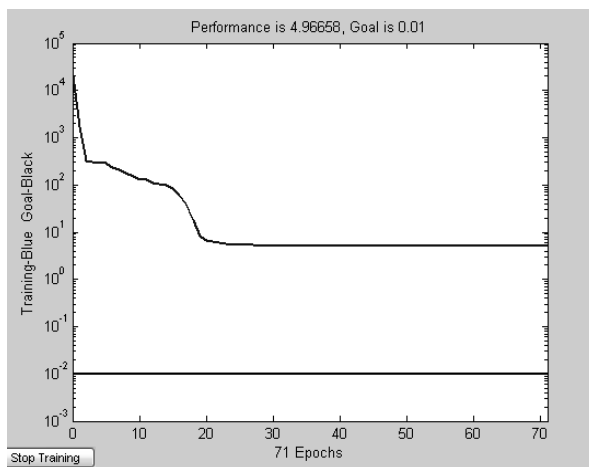
Создание и обучение нейронной сети запускается специальной программой, созданной в среде MatLab [3]. Для решения задачи моделирования была сформирована трёхслойная полносвязанная сеть, включающая два нейрона во входном слое (по числу компонентов входного вектора), четыре нейрона в промежуточном слое с передаточными функциями  $\tan\text{sig}$  и один нейрон в выходном слое (по числу компонентов выходного слоя) с передаточной функцией  $\text{purelin}$  [3].

Позиции нейронов в каждом слое определяются топологической функцией  $\text{randtop}$ , формирующей случайное расположение нейронов в слое (рис. 11). При этом для вычисления расстояний между нейронами в  $i$ -м слое используется связанная функция расстояния  $\text{linkdist}$ . В качестве обучающего алгоритма был выбран алгоритм Levenberg-Marquardt ( $\text{trainlm}$ ). Указанная сеть формируется с помощью следующей процедуры, записанной в программе `Neuron.m`: `net=newcf(minmax(P), [3, 6, 1], {'tansig' 'tansig' 'purelin'}, 'trainlm');` где первый аргумент – матрица минимальных и максимальных значений компонентов входного вектора – вычисляется с помощью процедуры  $\text{minmax}$ . Результатом выполнения процедуры  $\text{newff}$  является нейронная сеть  $\text{net}$  заданной конфигурации.



**Рис. 11. Расположение нейронов во втором слое НС**

Обучение нейронной сети заключается в определении весов и смещений всех синапсов во всех слоях НС. Параметрами обучения являлись количество циклов обучения (1000) и целевая ошибка обучения (0,01). При этом в качестве функции оценки функционирования была выбрана среднеквадратичная ошибка sse. Процесс обучения иллюстрируется графиком зависимости оценки функционирования от номера цикла обучения (рис. 12).



**Рис. 12. Процесс обучения НС**

Для оценки достоверности результатов работы НС можно воспользоваться результатами регрессионного анализа, полученными при сравнении эталонных значений со значениями, полученными на выходе сети, когда на вход поданы входные векторы тестового массива (рис. 13). Описанная процедура иллюстрируется следующим набором команд:  $y = \text{sim}(\text{net}, P)$ ;  $[m, b, r] = \text{postreg}(y(1,:), T(1,:))$ .

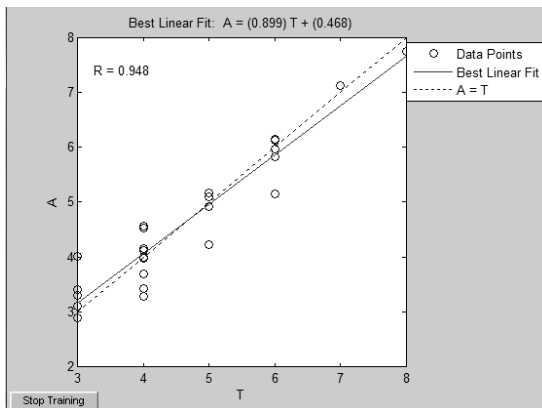
Из сравнения компонентов эталонных векторов с соответствующими компонентами выходных векторов сети видно, что совпадение экспериментальных данных с расчётными  $R$  составляет 94,8%, т.е. сеть работает правильно.

Для обработки входных данных создаётся программный код [3], который позволяет получить массивы значений выходной переменной при некоторых значениях входных переменных, изменяющихся в том же диапазоне, что и при экспериментальном исследовании (рис. 14).

Представленная трёхмерная модель затруднена для понимания. В связи с этим, учитывая необходимость получения продукта функциональной направленности, т.е. с высоким содержанием биологически активных веществ, было проведено сечение поверхности (рис. 14) плоскостью, параллельной оси «В/СОВ» при максимальном значении доли тывенного пюре в рецептурной смеси – 30%. Полученная графическая зависимость представлена на рис. 15.

Установлено, что высокие балльные оценки консистенции наблюдаются при доле пюре в смеси 30% и отношении В/СОВ 1,4...1,6. Полученный интервал допустимых значений В/СОВ хорошо согласуется с рекомендациями по величине этого отношения для плавленых сыров, обеспечивающего получение мягкой пастообразной консистенции. Полученные данные по качеству рецептурной смеси могут быть использованы для оптимизации её состава и себестоимости.

**Рис. 13. Сравнение экспериментальных значений (○) с результатами обучения сети (—)**



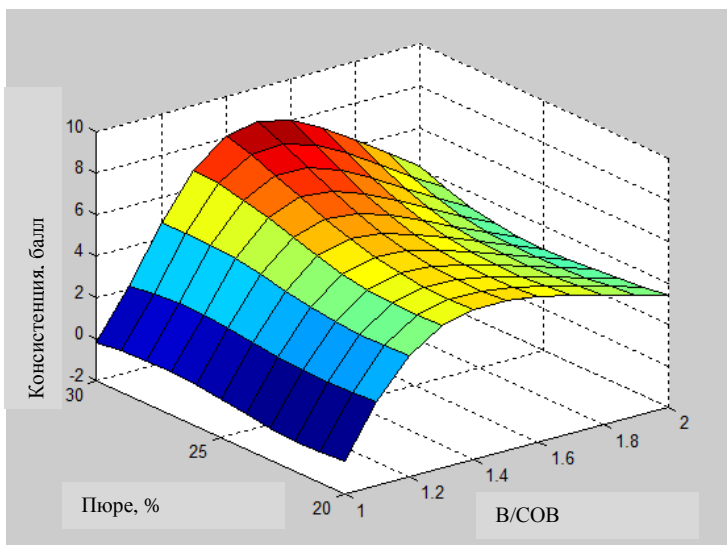


Рис. 14. Зависимость балльной оценки консистенции от массовой доли тыквенного пюре и значения «В/COB» в рецептурной смеси

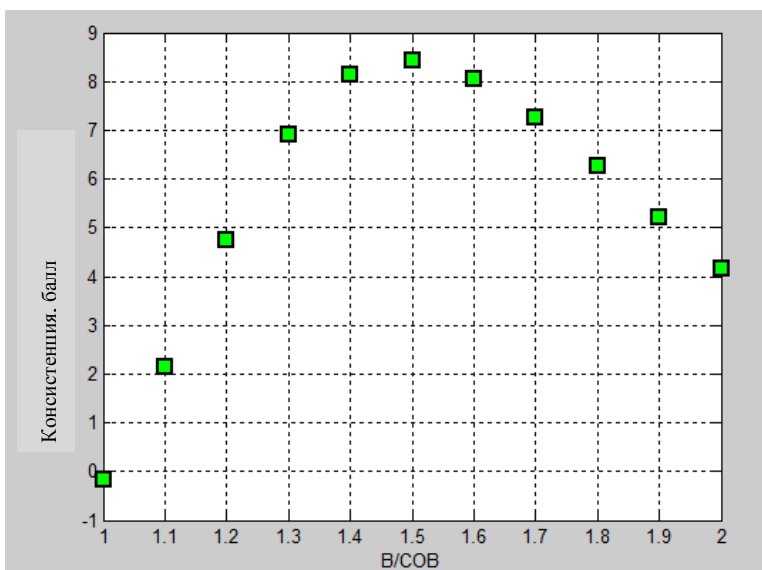


Рис. 15. Зависимость балльной оценки консистенции от содержания тыквенного пюре и отношения «В/COB» в рецептурной смеси



### 3.3. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЦЕПТУР СО СЛОЖНЫМ СЫРЬЕВЫМ СОСТАВОМ

Среди различных моделей технологических процессов особое место занимают линейные модели, т.е. модели, где математические зависимости (равенства или неравенства) – линейны относительно всех переменных величин, включённых в модель. Сущность задач такого рода заключается в том, чтобы из множества возможных вариантов рецептур необходимо выбрать по заданному признаку (критерию) оптимальный вариант путём направленного варьирования количественными соотношениями сырьевых компонентов.

Решение поставленной задачи осуществляется в несколько этапов:

1) формируется информационный банк данных, который включает химический состав ингредиентов, оптовые цены;

2) на основе информационного банка данных составляются балансовые линейные уравнения: по химическому составу конечного продукта (например, по содержанию жира, СОМО, воды, углеводам);

3) определяются технологические ограничения на использование отдельных видов ингредиентов (соли, специй и т.д.) согласно нормативно-технической документации;

4) выбирается критерий (функция цели) оптимизации энергетической ценности продукта;

5) решается поставленная задача в компьютерной математической системе;

6) проводится анализ вариантов разработанных многокомпонентных пищевых продуктов с технологической и экономической точек зрения, и выбирают тот, который наиболее полно отвечает поставленной цели.

Рассмотрим представленную в [30] реализацию приведённого выше алгоритма проектирования рецептур со сложным сырьевым составом на примере разработки мясо-молочно-растительного паштета.

Требуется разработать рецептуру паштета с максимальной энергетической ценностью. На 100 кг смеси паштета добавляется: соли – 1,0; лука – 0,5; стабилизатора – 0,5; специй – 1,0; фиксатора окраски – 0,5 кг [25, 27]. Ингредиенты, используемые в качестве компонентов паштета, представлены в табл. 5.

В таблице 6 сформирована информационная матрица данных для проведения оптимизации рецептуры паштета, которая включает в себя следующие блоки: ингредиенты, химический состав ингредиентов, оптовые цены, индексированные переменные (обозначены через  $X$ ). На основании информационной матрицы данных (табл. 5) формируется система линейных балансовых уравнений – по жиру, белку, золе, углеводам, воде и сухим веществам (табл. 6).

## 5. Информационная матрица данных для проектирования рецептуры паштета

Ингредиенты	Индекс, $X_j$	Массовая доля, %						Оптовая цена, р./кг
		жира	белка	зола	углеводов	воды	сухого вещества	
Печень говяжья	$X_1$	3,1	17,4	1,3	0	78,2	21,8	111,00
Жир говяжий	$X_2$	96,0	0	0	0	4,0	96,0	89,0
Белок животный	$X_3$	0,0	25,0	1,0	0	74,0	26,0	100,0
Белок соевый	$X_4$	2,6	90,0	1,0	5,6	0,8	99,2	86,0
Мука пшеничная	$X_5$	1,1	10,3	0,5	71,8	16,3	83,7	15,0
SOM	$X_6$	1,0	38,0	7,0	50,0	4,0	96,0	125,0
Молоко	$X_7$	3,2	2,8	0,7	4,7	88,6	11,4	20,0
Питьевая вода	$X_8$	0	0	0	0	100	0	0,06
Соль	$X_9$							
Лук	$X_{10}$							
Стабилизатор	$X_{11}$							
Специи	$X_{12}$							
Фиксатор окраски	$X_{13}$							

### 6. Система балансовых линейных уравнений

Баланс по:	Уравнения и ограничения:
жиру	$0,031X_1 + 0,96X_2 + 0,026X_4 + 0,011X_5 + 0,01X_6 + 0,032X_7$
белку	$0,174X_1 + 0,25X_3 + 0,90X_4 + 0,103X_5 + 0,38X_6 + 0,028X_7$
золе	$0,013X_1 + 0,01X_3 + 0,01X_4 + 0,005X_5 + 0,07X_6 + 0,007X_7$
углеводам	$0,056X_4 + 0,718X_5 + 0,50X_6 + 0,047X_7$
питьевой воде	$0,782X_1 + 0,04X_2 + 0,74X_3 + 0,008X_4 + 0,163X_5 + 0,04X_6 + 0,886X_7 + X_8$
сухому веществу	$0,218X_1 + 0,96X_2 + 0,26X_3 + 0,992X_4 + 0,837X_5 + 0,96X_6 + 0,114X_7$
ограничения	$X_9 = 1; X_{10} = 0,50; X_{11} = 0,5; X_{12} = 1; X_{13} = 0,5$
масса паштета, кг	$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 + X_{10} + X_{11} + X_{12} + X_{13} = 100,00$

Функция цели – максимальная энергетическая ценность проектируемого паштета, определяется как сумма энергетической ценности составных частей ингредиентов, масса которых определяется из рецептуры:

$$\mathcal{E} = 9Ж + 4Б + 3,75У,$$

где  $\mathcal{E}$  – энергетическая ценность продукта, ккал; Ж – массовая доля жира в продукте, %; Б – массовая доля белка в продукте, %; У – массовая доля углеводов в продукте, %.

На этапе технологической операции – формирования рецептуры проектируемого продукта с максимальной энергетической ценностью – даётся научное обоснование количества вносимых ингредиентов и позволяет вырабатывать продукт с заданными свойствами.

В результате решения системы линейных балансовых уравнений с учётом принятых обозначений получаем рассчитанные варианты рецептур при производстве 100 кг паштета (табл. 7).

### 7. Варианты рецептур паштета с различной энергетической ценностью

Ингредиенты	Индекс, $X_i$	Варианты рецептур паштета «Новый», с различной энергетической ценностью, расход сырья кг, на 100 кг (без учёта потерь)			
		1	2	3	4
Печень говяжья	$X_1$	60,00	60,00	60,00	60,00
Жир говяжий	$X_2$	27,50	14,43	2,86	0,00
Белок животный	$X_3$	0,00	0,00	0,00	0,00
Белок соевый	$X_4$	0,00	0,00	0,00	0,00
Мука пшеничная	$X_5$	0,00	0,00	0,00	0,00
СОМ	$X_6$	4,00	4,00	4,00	4,00
Молоко	$X_7$	5,00	5,00	5,00	5,00
Питьевая вода	$X_8$	0,00	13,07	24,64	27,50
Соль	$X_9$	1,00	1,00	1,00	1,00
Лук	$X_{10}$	0,50	0,50	0,50	0,50
Стабилизатор	$X_{11}$	0,50	0,50	0,50	0,50
Специи	$X_{12}$	1,0	1,0	1,0	1,0
Фиксатор окраски	$X_{13}$	0,5	0,5	0,5	0,5
Химический состав рецептур, %					
Жир		28,46	15,91	4,80	2,06
Белок		12,10	12,10	12,10	12,10
Углеводы		2,24	2,24	2,24	2,24
Вода		56,1	68,7	79,8	82,5
Энергетическая ценность, ккал		312,92	200,00	100,00	75,32
Себестоимость 100 кг паштета, р.		9647,50	8485,09	7455,69	7201,65

Композиционная вариация рецептов позволяет определить максимальную (минимальную) энергетическую ценность проектируемого продукта. Так, рецептура 1 имеет энергетическую ценность, равную 312,92 ккал, а рецептура под номером 4 – 75,32 ккал.

Представленный выше метод проектирования многокомпонентных пищевых продуктов с различной энергетической ценностью, основанный на линейном программировании, отличается простотой, наглядностью и информативностью и может быть использован при проектировании многокомпонентных пищевых продуктов питания с заданными свойствами. При использовании современных компьютерных технологий сложные задачи проектирования рецептов многокомпонентных продуктов питания с заданными свойствами решаются без потери оперативности управления производством.

#### 3.4. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА ДЛЯ РАСЧЁТА И ОПТИМИЗАЦИИ РЕЦЕПТУР МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ПИЩЕВЫХ СИСТЕМ

Для расчётов унифицированных рецептов с учётом возможности взаимозаменяемости сырья и для проектирования рецептов продуктов питания нового поколения была разработана автоматизированная информационная система, основанная на использовании объектно-ориентированного представления информации, предназначена для оперативного расчёта и оптимизации рецептов в условиях вариабельности сырья [24]. Автоматизированная информационная система состоит из трёх модулей: информационного, расчётного и оптимизационного. Информационный модуль представляет собой совокупность данных компонентов и полуфабрикатов рецептуры. В расчётном модуле осуществляется выбор и запись компонентов базы данных информационного модуля, производятся расчёты однофазных и многофазных рецептов, а также пищевой и энергетической ценности. В модуле оптимизации осуществляется подбор компонентов рецептуры по пищевой и энергетической ценности в условиях действия ограничений на себестоимость. Разработанная система обеспечивает возможность сопряжения с базой данных по пищевым ингредиентам; эволюцию процедурной части базы знаний; оптимизацию рецептов по пищевой ценности компонентов при ограничениях на себестоимость продовольственных продуктов; формирование результатов расчёта рецептов многокомпонентных пищевых систем в форме стандартных отчётов.

Преимуществами предлагаемой автоматизированной информационной системы являются: невысокая стоимость, доступная большинству средних и малых предприятий; возможность включения в состав рецептов как простых (однофазных), так и сложных (многофазных) продуктов, среди которых могут быть и конечные полуфабрикаты предприятий-поставщиков, а также полуфабрикаты собственного производства; удобный интерфейс; возможность оптимизации рецептов с учётом технологических особенностей конкретного пищевого предприятия [11].

Алгоритмическое и программное обеспечение автоматизированной информационной системы для расчёта и оптимизации рецептов сложных многокомпонентных пищевых продуктов базируется на объектно-ориентированном представлении знаний.

В качестве примера работы автоматизированной информационной системы рассмотрим расчёт рецептуры вафельных изделий функционального назначения.

При запуске программы «Multifaz» открывается окно, в правой части которого перечислены сырьевые компоненты, а в левой – окно иерархии рецептуры. В строке «Наименование готового изделия» вводим название готового продукта «Вафельные изделия функционального назначения». Задаём общие потери и потери по стадиям производства.

Для построения иерархии рецептуры из списка сырьевых компонентов выбираем полуфабрикаты, из которых состоит готовое изделие (вафельный лист и начинка), а также задаём их количество на загрузку. Составляем рецептуру каждого полуфабриката, выбирая из правой части окна рецептурные компоненты и нажимая кнопку «+» для добавления их в иерархию рецептуры. Для обогащения вафель добавляем овсяную муку в рецептуру вафельного листа и солодовый экстракт в рецептуру начинки. Для этого, нажав кнопку «Работа с компонентами» и выбрав пункт «Сырьевые компоненты», добавляем в список новые рецептурные компоненты, указывая содержание сухих веществ (рис. 16). Затем задаём загрузочную характеристику каждого компонента.

Общий вид иерархии рецептуры вафельных изделий функционального назначения изображён на рис. 17.

Нажимаем кнопку «Расчёт» и получаем расход сырья для приготовления полуфабрикатов в соответствии с данной рецептурой, а также сводную рецептуру вафельных изделий функционального назначения (табл. 8).

Общая коррекция списка сырья и полуфабрикатов

Файл Редактирование

Список рецептурных компонент

	Наименование	% сухих	Белки	Жиры	Углеводы	Эн. ценность
21	Соль поваренная	99.9	0	0	0	0
22	Сода пищевая	50	0	0	0	0
23	Яичный порошок	94	46	37.3	4.5	542
24	Пюре вишневое	10	0	0	0	0
25	цитрат натрия	99	0	0	0	0
26	фруктовый порошок	94	0	0	0	0
27	сливки сгущенные с сахаром	74	0	0	0	0
28	пектин цитрусовый	92	0	0	0	0
29	сыворожка молочная сухая	95	0	0	0	0
30	вафельный лист дробленый	97.5	2.97	31.29	57.77	0
31	Мука овсяная	85.5	0	0	0	0
32	Солодовый экстракт	76	0	0	0	0

Выход

+

-

Рис. 16. Добавление нового сырья в список рецептурных компонентов

Расчет многофазных рецептур кондитерских изделий

Наименование готового изделия

Вафельные изделия функционального назначения

Переименовать изделие Удалить рецептуру

Дополнения и коррекция

+ - Работа с компонентами

- Ядро арахиса
- Ядро фундука
- Кондитерский жир
- Молоко сухое
- Вафли дробленые
- Сахарная пудра
- Кокосовое масло
- Крахмал кукурузный
- Крошка негазированного полуфабриката

Дерево рецептуры

- Вафельные изделия функционального назначения
  - Вафельный лист (200 кг)
    - Мука пшеничная в/с
    - Соль поваренная
    - Сода пищевая
    - Яичный порошок
    - Мука овсяная
    - Ферментный препарат
  - Вафельная начинка (800 кг)
    - Сахар-песок
    - Кондитерский жир
    - Кислота лимонная
    - Эссенция
    - Вафли дробленые
    - Солодовый экстракт

Сохранить как Загрузить Расчет Новая % потерь для 1-й фазы 1 Общий % потерь 7

Выход

Рис. 17. Общий вид дерева рецептуры вафельных изделий функционального назначения

## 8. Сводная рецептура вафельных изделий функционального назначения

Сводная рецептура					
Наименование сырья	Массовая доля сухих веществ	Расход сырья, кг			
		по сумме полуфабрикатов для 1 т незавернутой продукции		на 1 т готовой продукции без заверточных материалов	
		в натуре	в сухих веществах	в натуре	в сухих веществах
Мука пшеничная в/с	85,50	188,48	161,16	192,20	164,33
Соль поваренная	99,90	1,35	1,35	1,38	1,38
Сода пищевая	50,00	1,36	0,68	1,39	0,69
Яичный порошок	94,00	0,62	0,58	0,63	0,59
Мука овсяная	85,50	80,78	69,07	82,37	70,43
Ферментный препарат	0,00	0,08	0,00	0,08	0,00
Сахар-песок	99,85	397,56	396,97	405,40	404,79
Кондитерский жир	99,70	294,69	293,81	300,50	299,60
Кислота лимонная	91,20	3,61	3,29	3,68	3,35
Эссенция	0,00	2,18	0,00	2,22	0,00
Крошка вафельная	97,50	101,24	98,71	103,23	100,65
Солодовый экстракт	76,00	24,68	18,76	25,17	19,13
<b>Итого</b>		<b>1096,63</b>	<b>1044,5</b>	<b>1118,25</b>	<b>1064,94</b>
<b>Выход</b>	<b>99,04</b>	<b>1000,00</b>	<b>990,40</b>	<b>1000,00</b>	<b>990,40</b>
Потери	7,00				1064,95
	1,0196923				

Разработанная автоматизированная информационная система, основанная на использовании объектно-ориентированного представления информации, предназначена для оперативного расчёта и оптимизации рецептур в условиях вариабельности сырья. Она может применяться для расчётов унифицированных рецептур с учётом возможности взаимозаменяемости сырья и для проектирования рецептур продуктов питания нового поколения. В настоящее время программное обеспечение для расчёта рецептур кондитерских изделий прошло тестирование, а программный модуль для оптимизации рецептур по пищевой и энергетической ценности находится в стадии разработки.



#### 4. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ РАСЧЁТА И ОПТИМИЗАЦИИ РЕЦЕПТУР

Ниже приведены примеры решения задач расчёта и оптимизации рецептур пищевых изделий с использованием приведённых выше методов компьютерного моделирования.

**Задача 1.** Разработать рецептуру полуфабриката – помадной массы с минимальной себестоимостью, содержащей не менее 90% сухих веществ, 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. 9.

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

Рецептурные ингредиенты (РИ)	Возможный диапазон варьирования РИ, %	Содержание сухих веществ РИ, %	Состав РИ			Стоимость РИ, р./кг
			Белки	Жиры	Угле- воды	
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, жирность 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) наличия в вырабатываемом продукте сухих веществ не более 90%  
 $99,85x_1 + 78x_2 + 99,7x_3 + 80x_4 + 66,6x_5 + 66,8x_6 + 20x_7 \geq 0,9$ ;

- 2) наличия в вырабатываемом продукте не более 70% сахарозы  
 $99,8x_1 + 74,4x_2 + 0,8x_4 + 55,5x_5 + 55,2x_6 + 10,3x_7 \leq 0,7$ ;
- 3) наличия в вырабатываемом продукте не более 30% жиров  
 $0,3x_2 + 99,8x_3 + 82,5x_4 + 8,5x_5 + 5x_6 + 7,8x_7 \leq 0,3$ ;
- 4) получения единицы продукта  
 $x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 = 1$ ;
- 5) задания нижних ограничений на переменных:  
 $x_1 > 0,4; x_2 > 0,05; x_3 > 0; x_4 > 0; x_5 > 0; x_6 > 0; x_7 > 0$ ;
- 6) задания верхних ограничений на переменных:  
 $x_1 < 0,9; x_2 < 0,1; x_3 < 0,1; x_4 < 0,12; x_5 < 0,4; x_6 < 0,4; x_7 < 0,4$ .

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` [3]. 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 дополнительными аргументами могут быть `Aeq` и `beq`, наконец, двусторонние ограничения являются шестым и седьмым аргументами `linprog`. Ниже приведён 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];
%A=-A;
b = [-90; 70; 20];
%b=-b;
% Задание ограничений типа равенств
Aeq=[1 1 1 1 1 1 1];
beq=[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, beq, lb, rb)
```

Результаты расчёта 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%, сухих веществ 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. за 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. 10 – 13.

### 10. Исходные данные для расчёта рецептуры 1

Рецептурные ингредиенты (РИ)	Возможный диапазон варьирования РИ, %	Содержание сухих веществ 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 искомый 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) наличия в вырабатываемой рецептуре сухих веществ не менее 75%  
 $99,85x_1 + 78x_2 + 92x_3 + 96x_4 + 98x_5 + 99,1x_6 \geq 75$ ;
- 2) стоимости готового изделия не более 70 р./кг  
 $26,4x_1 + 34x_2 + 450x_3 + 60x_4 + 50x_5 + 165x_6 \leq 70$ ;
- 3) получения единицы продукта  
 $x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 = 1$ ;
- 4) задания нижних ограничений на переменных:  
 $x_1 \geq 0,5$ ;  $x_2 \geq 0,15$ ;  $x_3 \geq 0,01$ ;  $x_4 \geq 0,01$ ;  $x_5 \geq 0,003$ ;  $x_6 \geq 0,2$ ;
- 5) задания верхних ограничений на переменных:  
 $x_1 \leq 0,65$ ;  $x_2 \leq 0,3$ ;  $x_3 \leq 0,04$ ;  $x_4 \leq 0,015$ ;  $x_5 \leq 0,01$ ;  $x_6 \leq 0,25$ .

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

% Определение коэффициентов целевой функции

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

% f=-f;

% 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.

## 11. Исходные данные для расчёта рецептуры 2

Рецептурные ингредиенты (РИ)	Возможный диапазон варьирования РИ, %	Содержание сухих веществ РИ, %	Энергетиче- ская 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

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) наличия в вырабатываемой рецептуре сухих веществ не менее 75%

$$99,85x_1 + 97,2x_2 + 78x_3 + 92x_4 + 96x_5 + 98x_6 + 99,1x_7 \geq 0,75;$$

2) стоимости готового изделия не более 70 р./кг

$$26,4x_1 + 100x_2 + 34x_3 + 450x_4 + 50x_5 + 60x_6 + 165x_7 \leq 70;$$

3) получения единицы продукта

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 = 1;$$

4) задания нижних ограничений на переменных:

$$x_1 \geq 0,3; x_2 \geq 0,1; x_3 \geq 0,15; x_4 \geq 0,01; x_5 \geq 0,01; x_6 \geq 0,003; x_7 \geq 0,2;$$

5) задания верхних ограничений на переменных:

$$x_1 \leq 0,65; x_2 \leq 0,2; x_3 \leq 0,3; x_4 \leq 0,04; x_5 \leq 0,015; x_6 \leq 0,01; x_7 \leq 0,25.$$

Текст программы для расчёта второй рецептуры:

% Определение коэффициентов целевой функции

$$f = [379; 92; 307; 43; 0; 0; 540.1];$$

%f=-f;

% Задание матрицы A и вектора b правой части системы неравенств

$$A = [-99.85 \ -97.2 \ -78 \ -92 \ -96 \ -98 \ -99.1;$$

$$26.4 \ 100 \ 34 \ 450 \ 50 \ 60 \ 165];$$

$$b = [-75;70];$$

% Задание ограничений типа равенств

$$Aeq=[1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1];$$

$$beq=[1];$$

% Задание ограничений снизу на переменные

$$lb=[0.3; 0.1; 0.15; 0.01; 0.01; 0.003; 0.2];$$

% Задание ограничений сверху на переменные

$$ub=[0.65; 0.2; 0.3; 0.04; 0.015; 0.01; 0.25];$$

% Решение и вывод результата в командное окно

$$x = \text{linprog}(f, A, b, Aeq, beq, lb, ub)$$

Результаты расчёта программы:  $x_1 = 0,3478$ ;  $x_2 = 0,1172$ ;  $x_3 = 0,3$ ;  $x_4 = 0,01$ ;  $x_5 = 0,015$ ;  $x_6 = 0,01$ ;  $x_7 = 0,2$ .

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.

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) наличия в вырабатываемой рецептуре сухих веществ не менее 75%

$$99,85x_1 + 95x_2 + 76x_3 + 92x_4 + 96x_5 + 98x_6 + 99,1x_7 \geq 0,75;$$

## 12. Исходные данные для расчёта рецептуры 3

Рецептурные ингредиенты (РИ)	Возможный диапазон варьирования РИ, %	Содержание сухих веществ 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

2) стоимости готового изделия не более 70 р./кг

$$26,4x_1 + 35x_2 + 11,4x_3 + 450x_4 + 50x_5 + 60x_6 + 165x_7 \leq 70;$$

3) получения единицы продукта

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 = 1;$$

4) задания нижних ограничений на переменных:

$$x_1 \geq 0,1; x_2 \geq 0,15; x_3 \geq 0,25; x_4 \geq 0,01; x_5 \geq 0,01; x_6 \geq 0,003; x_7 \geq 0,2;$$

5) задания верхних ограничений на переменных:

$$x_1 \leq 0,65; x_2 \leq 0,5; x_3 \leq 0,5; x_4 \leq 0,04; x_5 \leq 0,015; x_6 \leq 0,1; x_7 \leq 0,25.$$

Текст программы для расчёта третьей рецептуры:

% Определение коэффициентов целевой функции

$$f = [379; 367; 304; 43; 0; 0; 540.1];$$

% Задание матрицы A и вектора b правой части системы неравенств

$$A = [-99.85 \ -95 \ -76 \ -92 \ -96 \ -98 \ -99.1;$$

$$26.4 \ 35 \ 11.4 \ 450 \ 50 \ 60 \ 165];$$

$$b = [-75; 70];$$

% Задание ограничений типа равенств

$$Aeq=[1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1];$$

$$beq=[1];$$

% Задание ограничений снизу на переменные

$$lb=[0.1; 0.15; 0.25; 0.01; 0.01; 0.003; 0.2];$$

% Задание ограничений сверху на переменные

$$rb=[0.65; 0.5; 0.5; 0.04; 0.015; 0.01; 0.25];$$

% Решение и вывод результата в командное окно

$$x = \text{linprog}(f, A, b, Aeq, beq, lb, rb)$$

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

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.

### 13. Исходные данные для расчёта рецептуры 4

Рецептурные ингредиенты (РИ)	Возможный диапазон варьирования РИ, %	Содержание сухих веществ 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) наличия в вырабатываемой рецептуре сухих веществ не менее 75%

$$99,5x_1 + 95x_2 + 76x_3 + 92x_4 + 96x_5 + 98x_6 + 99,1x_7 \geq 0,75;$$

2) стоимости готового изделия не более 70 р./кг

$$100x_1 + 35x_2 + 11,4x_3 + 450x_4 + 50x_5 + 60x_6 + 165x_7 \leq 70;$$

3) получения единицы продукта

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 = 1;$$

4) задания нижних ограничений на переменных:

$$x_1 \geq 0,1; x_2 \geq 0,15; x_3 \geq 0,25; x_4 \geq 0,01; x_5 \geq 0,01; x_6 \geq 0,003; x_7 \geq 0,2;$$

5) задания верхних ограничений на переменных:

$$x_1 \leq 0,65; x_2 \leq 0,5; x_3 \leq 0,5; x_4 \leq 0,04; x_5 \leq 0,015; x_6 \leq 0,01; x_7 \leq 0,25.$$

Текст программы для расчёта четвёртой рецептуры

% Определение коэффициентов целевой функции

$$f = [92; 367; 304; 43; 0; 0; 540.1];$$

% Задание матрицы А и вектора b правой части системы неравенств

$$A = [-97.2 \ -95 \ -76 \ -91.2 \ -96 \ -91.2 \ -91.2;$$

$$100 \ 35 \ 11.4 \ 450 \ 50 \ 60 \ 165];$$

$b = [-75; 70];$

% Задание ограничений типа равенств

$A_{eq} = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1];$

$b_{eq} = [1];$

% Задание ограничений снизу на переменные

$lb = [0.1; 0.15; 0.25; 0.01; 0.01; 0.003; 0.2];$

% Задание ограничений сверху на переменные

$rb = [0.65; 0.5; 0.5; 0.04; 0.015; 0.01; 0.25];$

% Решение и вывод результата в командное окно

$x = \text{linprog}(f, A, b, A_{eq}, b_{eq}, lb, rb)$

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

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,  $B_1$  – не менее 0,5 мг,  $B_2$  – не менее 0,1 мг и C – не менее 1 мг. Содержание сухих веществ в каждом виде сырья указано в табл. 14, а биологическая ценность рецептурных ингредиентов – в табл. 15.

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

Рецептурные ингредиенты	Возможный диапазон варьирования РИ, %	Содержание сухих веществ 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



## 15. 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) наличия в вырабатываемой рецептуре сухих веществ не менее 75%  
 $92,1x_1 + 82x_2 + 95,5x_3 + 75x_4 + 80x_5 + 82,6x_6 \geq 0,75$ ;
- 2) содержания Na не менее 50  
 $23x_1 + 117x_2 + 157x_3 + 10x_4 + 17x_5 + 10x_6 \geq 50$ ;
- 3) содержания K не менее 500  
 $658x_1 + 830x_2 + 634x_3 + 864x_4 + 1717x_5 + 36x_6 \geq 500$ ;
- 4) содержания Ca не менее 100  
 $76x_1 + 83x_2 + 360x_3 + 80x_4 + 160x_5 + 14x_6 \geq 100$ ;
- 5) содержания Mg не менее 100  
 $182x_1 + 42x_2 + 311x_3 + 102x_4 + 106x_5 + 3x_6 \geq 100$ ;
- 6) содержания P не менее 100  
 $350x_1 + 129x_2 + 520x_3 + 83x_4 + 146x_5 + 18x_6 \geq 100$ ;
- 7) содержания Fe не менее 20  
 $5x_1 + 3x_2 + 60x_3 + 3x_4 + 32x_5 + 0,8x_6 \geq 20$ ;
- 8) содержания каротина не менее 500  
 $35x_2 + 3x_3 + 60x_4 + 3500x_5 \geq 500$ ;

9) содержания  $B_1$  не менее 0,5

$$0,74x_1 + 0,15x_2 + 1,8x_3 + 0,02x_4 + 0,1x_5 + 0,01x_6 \geq 0,5;$$

10) содержания  $B_2$  не менее 0,1

$$0,11x_1 + 0,06x_2 + 0,2x_3 + 0,1x_4 + 0,2x_5 + 0,03x_6 \geq 100;$$

11) содержания  $C$  не менее 1

$$5,3x_1 + 3x_4 + 4x_5 \geq 100;$$

12) получения единицы продукта

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 = 1;$$

13) задания нижних ограничений на переменных:

$$x_1 \geq 0; x_2 \geq 0; x_3 \geq 0; x_4 \geq 0; x_5 \geq 0; x_6 \geq 5;$$

14) задания верхних ограничений на переменных:

$$x_1 \leq 25; x_2 \leq 10; x_3 \leq 25; x_4 \leq 12; x_5 \leq 15; x_6 \leq 90.$$

% Определение коэффициентов целевой функции

f = [1300.15; 1239.21; 2047; 1205.12; 5682.12; 81.84];

f=-f;

% Задание матрицы A и вектора b правой части системы неравенств

A = [23 117 157 10 17 10;

658 830 634 864 1717 36;

76 83      360      80      160      14;

182      42      311      102      106      3;

350      129      520      83      146      18;

5 3      60      3      32      0.8;

0 35      3      60      3500      0;

0.74      0.15      1.8      0.02 0.1 0.01;

0.11      0.06      0.2      0.1      0.2      0.03;

5.3 1      2      3      4      0;

92.1 82 95.5 75 80 82.6];

A=-A;

b = [-50; -500; -100; -100; -100; -20; -500; -0.5; -0.1; -1; -75];

% Задание ограничений типа равенств

Aeq=[1 1 1 1 1 1];

beq=[1];

% Задание ограничений снизу на переменные

lb=[0; 0; 0; 0; 0; 0.5];

% Задание ограничений сверху на переменные

rb=[0.25; 0.1; 0.25; 0.12; 0.15; 0.9];

% Решение и вывод результата в командное окно

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

Результаты расчёта программы:  $x_1 = 0,0904$  ;  $x_2 = 0,0096$ ;  $x_3 = 0,25$ ;  
 $x_4 = 0$ ;  $x_5 = 0,15$ ;  $x_6 = 0,5$ .

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 Mat-Lab функции linprog позволяет решать некоторые задачи оптимизации рецептурного состава. Для решения задач оптимизации органолептических показателей целесообразно использовать аппарат нечёткого моделирования.

**Задача 4.** На основе плавленого сыра «Кубаночка» разработать компонентный состав сырного продукта с растительным наполнителем, обеспечивающий: повышение содержания эссенциальных жирных кислот до уровня, соотносимого с суточной потребностью человека; снижение доли холестерина до рекомендуемой ВОЗ нормы потребления; увеличение количества каротиноидов, витамина С, пищевых волокон с целью повышения функциональности продукта.

#### **Расчёт рецептуры плавленого сыра «Кубаночка»**

Для выполнения требований к рецептуре плавленого сырного продукта с растительным наполнителем был проанализирован компонентный состав плавленого сыра «Кубаночка», рецептура которого представлена в табл. 16.

Сырьевая база плавленого сыра представлена жиросодержащими (жирный сычужный сыр, сливочное масло), белоксодержащими (сыры сычужные, сухое обезжиренное молоко), а также углеводсодержащими компонентами (сахар-песок, СОМ, тыквенный напиток). На основе имеющихся данных о химическом составе рецептурных ингредиентов (табл. 17) определяем пищевую и энергетическую ценность «Кубаночки», используя программу для работы с электронными таблицами MS Excel.

Рассчитываем содержание белков в сырьевом наборе. Белки содержатся в 1, 2, 3, 4-м сырьевом компоненте (табл. 17) [18].

С учётом их доли в сырьевом наборе массой 103,0 г абсолютное содержание белков составляет:

$$K_{\text{сн,б}} = \sum_{i=1,3,8} \frac{m_i}{100} B_i.$$

Сохранность пищевых веществ определяется по формуле

$$C_x = 100 - \Pi, \quad (3)$$

где  $\Pi$  – потери вещества, %.

Потери белков при тепловой обработке составляют около 6%. Аналогично по формуле (3) вычисляем сохранность белков –  $C_б$ .

Выход готового продукта  $B$  находят, вычитая из 100 величину потерь массы, которая равна 3%.

## 16. Рецептúra плавленого сыра «Кубаночка»

Наименование сырья	Содержание, кг			Стоимость, р./кг
	сырья	сухих веществ	жира	
Сыр свежий несоленый с массовой долей сухого вещества 55%, жира в сухом веществе 45%	206	113,3	51	135
Сыр нежирный с массовой долей сухого вещества 40%	184,5	83,0	–	135
Молоко коровье сухое обезжиренное с массовой долей сухого вещества 96%	30,9	29,7	–	70
Масло крестьянское с массовой долей сухого вещества 75%, жира 72,5%	84,5	63,4	61,3	70
Смесь триполифосфата натрия и натрия пирогосфорнокислого трёхзамещённого (пищевого) с массовой долей сухого вещества 20%	103,0	20,6	–	55
Сахар-песок	206,0	206	–	16
Напиток тыквенный с массовой долей сухого вещества 14%	206,0	28,8	–	60
Вода питьевая	9,1	–	–	7
<b>Итого</b>	<b>1030</b>	<b>544,8</b>	<b>112,3</b>	<b>80,3</b>
<b>Выход</b>	<b>1000</b>	<b>500</b>	<b>100</b>	<b>78,0</b>

Содержание исследуемого вещества, в г, в 100 г продукта определяется по формуле

$$K_{г,x} = \frac{C_x K_{сн,x}}{B} . \quad (2)$$

По формуле (4) находим содержание белков:

$$K_{г,б} = \frac{C_б K_{сн,б}}{B} .$$

Рассчитываем содержание жиров в сырьевом наборе. Жиры содержатся в 1, 4-м сырьевом компоненте (табл. 17).

С учётом их доли в сырьевом наборе массой 103 г абсолютное содержание жиров составляет:

$$K_{сн,ж} = \sum_{i=1,2,3,8} \frac{m_i}{100} Ж_i .$$

## 17. Пищевая ценность компонентов рецептурной смеси «Кубаночка»

Наименование сырья	Содержание, г/100 г компонента				
	белков	жиров	углеводов	холестерина	пищевых волокон
1. Сыр свежий несоленый с массовой долей сухого вещества 55%, жира в сухом веществе 45%	26,8	24,75	–	0,150	–
2. Сыр нежирный с массовой долей сухого вещества 40%	26,8	–	–	–	–
3. Молоко коровье сухое обезжиренное с массовой долей сухого вещества 96%	37,9	–	49,3	–	–
4. Масло крестьянское с массовой долей сухого вещества 75%, жира 72,5%	0,96	72,5	1,35	0,190	–
5. Смесь триполифосфата натрия и натрия пирогликофосфорнокислого трёхзамещённого (пищевого) с массовой долей сухого вещества 20%	–	–	–	–	–
6. Сахар-песок	–	–	100	–	–
7. Напиток тыквенный с массовой долей сухого вещества 14%	–	–	1,12	–	16,6
8. Вода питьевая	–	–	–	–	–

Потери жиров при тепловой обработке составляют около 7%.

Рассчитываем сохранность жиров  $C_{ж}$  по формуле (3). По формуле (4) находим содержание жиров в г на 100 г готового продукта  $K_{г,ж}$ .

Рассчитываем содержание углеводов в сырьевом наборе. Углеводы содержатся в 3, 4, 6, 7-м сырьевом компоненте (табл. 17).

С учётом их доли в сырьевом наборе массой 103 г абсолютное содержание углеводов составляет:

$$K_{\text{сн,у}} = \sum_{i=1,2,3,8} \frac{m_i}{100} Y_i.$$

Потери углеводов при тепловой обработке составляют около 8%. Рассчитываем сохранность углеводов  $K_{\text{у}}$  формуле (3). По формуле (4) находим содержание углеводов в г на 100 г готового продукта  $K_{\text{г,у}}$ .

Рассчитываем содержание холестерина в сырьевом наборе. Холестерин содержится в 1, 4-м сырьевых компонентах (табл. 17).

С учётом его доли в сырьевом наборе массой 103 г абсолютное содержание холестерина составляет:

$$K_{\text{сн,х}} = \sum_{i=1,2,3,8} \frac{m_i}{100} X_i.$$

Потери холестерина при тепловой обработке составляют около 7%.

По формуле (4) находим содержание холестерина в г на 100 г готового продукта  $K_{\text{г,х}}$ .

Рассчитываем содержание пищевых волокон в сырьевом наборе. Они содержатся в 7-м сырьевом компоненте (табл. 17). С учётом их доли в сырьевом наборе массой 103 г абсолютное содержание пищевых волокон составляет:

$$K_{\text{сн,пв}} = \sum_{i=1,2,3,8} \frac{m_i}{100} \text{ПВ}_i.$$

Потери пищевых волокон при тепловой обработке не происходит.

По формуле (4) находим содержание пищевых волокон в г на 100 г готового продукта  $K_{\text{г,пв}}$ .

Энергетическую ценность 100 г плавленого сыра, приготовленного по рецептуре, представленной в табл. 18, рассчитываем исходя из того, что при разложении 1 г белков выделяется 4 ккал, 1 г жиров – 9 ккал, 1 г углеводов – 4 ккал.

Пищевая и энергетическая ценности плавленого сыра «Кубаночка», а также содержание пищевых волокон и холестерина приведены в табл. 18.

Реализация поставленной задачи осуществляется за счёт использования следующих технологических решений: повышения доли растительного жира как источника полиненасыщенных жирных кислот, антиоксидантов, некоторых витаминов и более дешёвого сырья; увеличения содержания тыквенного пюре, содержащего пищевые волокна и биологически активные вещества.

## 18. Пищевая и энергетическая ценность плавленого сыра «Кубаночка»

Составляющие	Норма потребления, г(мг, ккал)/сут	«Кубаночка»	
		Содержание	Удовлетворение суточной потребности, %
Белки, г/100 г	77,5	11,4	14,7
Жиры, г/100 г	87	10,9	12,5
Углеводы, г/100 г	320,5	21,3	6,6
Пищевые волокна, г/100г	20	3,5	17,5
Холестерин, мг/100 г	150	45	30
ПНЖК, г/100 г	12	–	–
Каротиноиды, мг/100 г	1,5	0,27	18
Витамин С, мг/100 г	75	1,08	1,2
Энергетическая ценность, ккал/100 г	2375	228,9	9,6

### Расчёт рецептуры сырного продукта с растительным наполнителем

Содержание основных рецептурных компонентов сырного продукта в смеси определяется их физико-химическими свойствами, в частности содержанием сухих веществ в их составе и относительной долей жира в них. Поэтому с целью определения расхода сырья для получения 100 кг продукта необходимой жирности и влажности проводится продуктовый расчёт, исходные данные для которого представлены в табл. 19.

Баланс по общей массе смеси ( $m_{\text{см}} = 100$  кг) имеет вид

$$\sum_{i=1}^9 m_i = m_{\text{см}}, \quad (5)$$

где  $m_i$  – масса  $i$ -го компонента рецептурной смеси (табл. 19), кг.

Баланс по сухому остатку (кг) имеет вид

$$\sum_{i=1}^9 m_i \frac{c_i}{100} = m_{\text{см}} \frac{c_{\text{см}}}{100}, \quad (6)$$

где  $c_{\text{см}}$  – массовая доля сухих веществ в смеси, %.

Баланс по жиру (кг) имеет вид

$$\sum_{i=1}^9 m_i \frac{c_i}{100} \frac{Ж_i}{100} = m_{\text{см}} \frac{c_{\text{см}}}{100} \frac{Ж_{\text{см}}}{100}, \quad (7)$$

где  $Ж_{\text{см}}$  – относительная доля жира в смеси, %.

### 19. Компоненты рецептурной смеси сырного продукта с растительным наполнителем

Наименование сырья	Расход по сухому веществу $G_i$ , кг/100 кг	Содержание сухих веществ $G_i$ , %	Относительное содержание жира $Ж_i$ , %
1. Брынза	7	48	45
2. Растительный жир		100	100
3. Тыквенное пюре	3,5	14	0
4. Сахар-песок	16	100	0
5. Смесь картофельного и кукурузного крахмала	2	95	0
6. Лимонная кислота	0,1	100	0
7. Соль-плавитель	1,6	100	0
8. СОМ		95	0
9. Вода питьевая		0	0

Данные об относительной жирности и содержании сухих веществ в компонентах приведены в табл. 19. Используя их, находим:

$$m_1 = \frac{G_1}{C_1} \cdot 100; \quad m_3 = \frac{G_3}{C_3} \cdot 100;$$

$$m_4 = \frac{G_4}{C_4} \cdot 100; \quad m_5 = \frac{G_5}{C_5} \cdot 100;$$

$$m_6 = \frac{G_6}{C_6} \cdot 100; \quad m_7 = \frac{G_7}{C_7} \cdot 100.$$

Принимаем  $Ж_{см} = 50\%$ ,  $c_{см} = 55\%$ , тогда, решая уравнение (7), находим требуемое количество растительного жира  $m_2$ .

Решение уравнения (6) позволяет определить требуемое количество СОМ  $m_8$ .

Необходимое количество питьевой воды  $m_9$  определим из уравнения (5). Результаты продуктового расчёта представлены в табл. 20.



## 20. Рецепттура сырного продукта с растительным наполнителем

Сырьевой компонент	Расход $m_i$ , кг/100 кг	Содержание сухих веществ, кг	Содержание жира, кг
1. Брынза (массовая доля сухих веществ 48%, жира в сухом веществе 45%)	14,6	7	3,2
2. Растительный жир	24,3	24,3	24,3
3. Тыквенное пюре (массовая доля сухих веществ 14%)	25	3,5	0
4. Сахар-песок	16	16	0
5. Смесь картофельного и кукурузного крахмала	2,1	2,0	0
6. Лимонная кислота	0,1	0,1	0
7. Соль-плавитель	1,6	1,6	0
8. СОМ	0,5	0,48	0
9. Вода питьевая	15,8	0	0
Итого, кг	100	55	27,5

### Определение пищевой и энергетической ценностей сырного продукта

Пищевая ценность сырного продукта с растительным наполнителем, изготовленного по рецептуре, представленной в табл. 20, рассчитывается по предложенной ранее методике.

С учётом их доли в сырьевом наборе массой 100 г абсолютное содержание белков составляет:

$$K_{г,б} = \sum_{i=1,3,8} \frac{m_i}{100} B_i.$$

По формуле (6) находим содержание белков в 100 г продукта:

$$K_{г,б} = \frac{C_б K_{сн,б}}{M}.$$

С учётом их доли в сырьевом наборе массой 100 г абсолютное содержание жиров составляет:

$$K_{сн,ж} = \sum_{i=1,2,3,8} \frac{m_i}{100} Ж_i.$$

Находим содержание жиров в г на 100 г готового продукта  $K_{г,ж}$  по формуле (4).

С учётом их доли в сырьевом наборе массой 100 г абсолютное содержание углеводов составляет:

$$K_{сн,у} = \sum_{i=1,2,3,8} \frac{m_i \cdot y_i}{100}$$

По формуле (4) находим содержание углеводов в г на 100 г готового продукта  $K_{г,у}$ .

Результаты расчёта сведены в табл. 21.

В заключении, находим энергетическую ценность 100 г сырного продукта.

Пищевая и энергетическая ценности сырного продукта, приготовленного по рецептуре, представленной в табл. 20, приведены в табл. 21.

### 21. Пищевая и энергетическая ценность сырного продукта с растительным наполнителем

Составляющие	Содержание	Норма потребления, г(мг, ккал)/сут	Удовлетворение суточной потребности, %
Белки, г/100 г	2,95	77,5	3,8
Жиры, г/100 г	26,2	87	30,2
Углеводы, г/100 г	17,8	320,5	5,6
Пищевые волокна, г/100 г	4,3	20	22
Холестерин, мг/100 г	11,3	150	7,5
ПНЖК, г/100 г	3,6	12	30,0
Каротиноиды, мг/100 г	0,37	1,5	25,0
Витамин С, мг/100 г	2,0	75	3,0
Энергетическая ценность, ккал/100 г	318,8	2375	13,4

Анализ таблиц 18 и 21 показывает, что калорийность сырного продукта увеличилась на 30% за счёт повышения содержания растительного жира на 60%. При этом снизилось содержание белка, в результате чего употребление 100 г продукта в сутки удовлетворит потребность человека в белках всего на 3%.

Предложенная рецептура удовлетворяет заявленной функциональной направленности: в плавленом сырном продукте содержание холестерина по сравнению с плавленым сыром уменьшилось на 75%; содержание пищевых волокон повысилось на 20%. Кроме того, употребление 100 г сырного продукта обеспечит суточную потребность человека в полиненасыщенных жирных кислотах на 30%.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ключевыми аспектами при разработке рецептур продуктов питания нового поколения являются научно обоснованный подбор физиологически функциональных пищевых ингредиентов с требуемыми санитарно-гигиеническими, медико-биологическими показателями, направленными лечебно-профилактическими свойствами, а также разработка новых технологических решений, позволяющих обеспечить сохранность биологически активных веществ и высокий уровень органолептических характеристик продукта. Автоматизированное проектирование рецептур позволяет заметно ускорить процессы расчёта и оптимизации состава сложных многокомпонентных продуктов питания, создавать продукты с заранее заданным химическим составом, пищевой ценностью и функциональной направленностью, оперативно реагировать на изменение свойств и видов сырьевых ингредиентов.

Анализ современного состояния методов автоматизированного проектирования сложных многокомпонентных продуктов питания показал, что наиболее эффективным является использование объектно-ориентированного подхода, предусматривающего представление рецептуры в виде иерархической структуры, и дающего возможность наследования свойств и методов совместно с добавлением новых расчётных формул, учитывающих расширение сырьевого ассортимента, особенности производства, технико-экономические показатели процессов, протекающих в аппаратах технологической линии, и др.

Отмечена недостаточная насыщенность рынка автоматизированными системами для расчёта многофазных рецептур и качеством представленных программных продуктов, основными недостатками которых являются: отсутствие модулей оптимизации рецептур по пищевой, энергетической ценности и себестоимости; автоматизация отдельных этапов расчёта и проектирования рецептур; ограниченная база данных; высокая стоимость; невозможность оперативного внедрения и дорогостоящая поддержка; отсутствие автономности программного обеспечения; недостаточная защита интеллектуальной собственности пользователя.

По мнению авторов, именно расширение возможностей оптимизационных программных средств позволит выйти на качественно новый уровень в разработке новых видов пищевых продуктов с заданным химическим составом, потребительскими и технологическими характеристиками. Проектирование пищевых продуктов оптимального состава методами математического моделирования позволит снизить финансовые и временные затраты на разработку продуктов питания, своевременно реагировать на изменение потребностей человеческого организма в условиях техногенного общества и существенно расширить ассортимент продукции функционального, лечебно-профилактического и лечебно-терапевтического назначения, направленных на питание отдельных групп населения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алтуньян, М.К. Оптимизация кулинарных соусов методом компьютерного моделирования / М.К. Алтуньян, А.В. Маликов, А.Б. Лебедев // Известия вузов. Пищевая технология, 2006. – № 5. – С. 65 – 67.
2. Ауэрман, Л.Я. Технология хлебопекарного производства : учебник. – 9-е изд.; перераб. и доп. / под общ. ред. Л.И. Пучковой. – СПб. : Профессия, 2005. – 416 с.
3. Дворецкий, Д.С. Расчёт и оптимизация процессов и аппаратов химических и пищевых производств в среде MatLab : учеб. пособие / Д.С. Дворецкий, А.А. Ермаков, Е.В. Пешкова ; под ред. д-ра техн. наук, проф. С.И. Дворецкого. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2005. – 80 с.
4. Разработка автоматизированной информационной системы для расчёта и оптимизации рецептур [Текст] / Н.В. Донских и др. // Известия вузов. Пищевая технология. – 2011. – № 2.-3 (320-321) – С. 122–123.
5. Жебелева, И.А. Оптимизация рецептурыпельменей с учётом сбалансированного аминокислотного состава [Текст] / И.А. Жебелева, Д.В. Криштафович, Г.П. Горощко // Мясная индустрия. – 2008. – № 2. – С. 60 – 63.
6. Захарова, Л.М. Проектирование состава новых кисломолочных белковых продуктов с зерновыми добавками [Текст] / Л.М. Захарова, И.А. Мазеева // Нетрадиционные природные ресурсы, инновационные технологии и продукты : сб. науч. тр. / Рос. акад. естеств. наук, Междунар. акад. авторов науч. открытий и изобретений. – 2002. – Вып. 6. – С. 71 – 76.
7. Технологические этапы разработки сырного продукта с растительным наполнителем [Текст] / О.В. Зюзина и др. // Инновационные технологии и оборудование для пищевой промышленности (приоритеты развития) [Текст] / материалы III Междунар. науч.-техн. конф. В 3 т. Т. 1. – Воронеж. гос. технол. акад. – Воронеж, 2009. – с. 61 – 65.
8. Информационные технологии проектирования и оценки качества пищевых продуктов направленного действия / Ю.А. Ивашкин и др. // Мясная индустрия. – 2000. – № 5. – С. 40–41.
9. Кравченко, Э.Ф. Продукты из вторичного молочного сырья для рецептур плавленых сыров / Э.Ф. Кравченко, А.В. Дунаев, Т.А. Волкова // Сыроделие и маслоделие. – 2010. – № 2. – С. 14 – 17.
10. Леоненков, А.В. Нечёткое моделирование в среде MatLAB и fuzzyTECHN. – СПб. : БХВ-Петербург, 2005.
11. Липатов, Н.Н. Методология проектирования продуктов питания с требуемым комплексом показателей пищевой ценности [Текст] / Н.Н. Липатов, И.А. Рогов // Известия вузов. Пищевая технология. – 1987. – № 2. – С. 9 – 15.
12. Лисин, П.А. Компьютерное моделирование поликомпонентных молочных продуктов // Пищевая промышленность, 2006. – № 11. – С. 60–61.

13. Михайлов, Н.А. Аналитический расчёт качества белков новых пищевых продуктов [Текст] / Н.А. Михайлов // *Вопр. питания.* – 1991. – № 3. – С. 49 – 52.

14. Миронова, Н.Г. Разработка оптимальных рецептур сухих завтраков повышенной биологической ценности с использованием математического моделирования [Текст] / Н.Г. Миронова, В.Н. Ковбаса // *Хранение и переработка сельхозсырья.* – 1998. – № 1. – С. 51–52.

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

16. Олейникова, А.Я. Технологические расчёты при производстве кондитерских изделий / А.Я. Олейникова, Г.О. Магомедов, И.В. Плотникова. – СПб. : Издательство РАПП, 2008. – 240 с.

17. Пашенко, Л.П. Технология хлебобулочных изделий / Л.П. Пашенко, И.М. Жаркова. – М. : Колос, 2006. – 389 с.

18. Родина, Т.Г. Сенсорный анализ продовольственных товаров / Т.Г. Родина. – М. : Издательский центр «Академия», 2004. – 208 с.

19. Сатина, О.В. Информационные технологии проектирования продуктов геронтологического питания [Текст] / О.В. Сатина, С.Б. Юдина // *Мясная индустрия.* – 2010. – № 6. – С. 56 – 58.

20. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ «Etalon» № 2005610751 от 30 марта 2005г. / Борисенко А.А.

21. 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.

22. 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.

23. 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.

24. Свидетельство о регистрации программ для ЭВМ № 2011616793 от 31.08.2011 г. Программа для расчёта многофазных рецептур кондитерских изделий / С.Г. Толстых, С.С. Толстых, Е.И. Муратова, Н.В. Донских, Д.В. Леонов.

25. Скурихин, И.М. Таблицы химического состава и калорийности российских продуктов питания : справочник / И.М. Скурихин, В.А. Тутельян. – М. : ДеЛи принт, 2007. – 276 с.

26. Тертычная, Т.Н. Оптимизация рецептуры кекса / Т.Н. Тертычная, В.И. Манжесов, Е.Ю. Ухина // Кондитерское производство. – 2007. – № 1. – С. 22 – 25.

27. Технологический сборник рецептов колбасных изделий и копченостей / Б.С. Сенченко и др. – Ростов н/Д: Изд-ский центр «МарТ», 2001. – 864 с.

28. Храмцов, А.Г. Методика нейронных сетей в прогнозировании безопасности и качества пищевых продуктов / А.Г. Храмцов, В.В. Садовой, В.А. Самылина // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2004. – № 12. – С. 47–48.

29. Черных, И.В. Совершенствование технологии ржаного и ржано-пшеничного хлеба на основе оптимизации биотехнологических свойств полуфабрикатов : дис. ... канд. техн. наук / И.В. Черных. – М., 2009. – 26 с.

30. Ясаков, А.В. Компьютерное проектирование пищевых продуктов со сложным сырьевым составом. – <http://conf.omgtu.ru/node/128>.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
1. СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ РЕЦЕПТУР ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ .....	6
1.1. Основные этапы проектирования рецептур сложных многокомпонентных продуктов питания .....	6
1.2. Анализ существующих методов проектирования рецептур продуктов питания .....	12
1.3. Программное обеспечение для автоматизированного расчёта и оптимизации рецептур .....	17
2. АЛГОРИТМЫ РАСЧЁТА РЕЦЕПТУР ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ .....	22
2.1. Расчёт рецептур хлебобулочных изделий .....	22
2.2. Расчёт рецептур кондитерских изделий .....	27
2.3. Расчёт рецептур плавленых сыров .....	33
3. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ НОВЫХ РЕЦЕПТУР .....	37
3.1. Использование метода нечёткого моделирования для прогнозирования потребительских характеристик пищевых продуктов .....	37
3.2. Использование нейронно-сетевого подхода для установления оптимального компонентного состава пищевых продуктов .....	44
3.3. Использование метода линейного программирования для оптимизации рецептур со сложным сырьевым составом .....	49
3.4. Использование объектно-ориентированного подхода для расчёта и оптимизации рецептур многокомпонентных пищевых систем .....	53
4. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ РАСЧЁТА И ОПТИМИЗАЦИИ РЕЦЕПТУР .....	57
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	75
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	76

Учебное издание

МУРАТОВА Евгения Ивановна,  
ТОЛСТЫХ Светлана Германовна,  
ДВОРЕЦКИЙ Станислав Иванович,  
ЗЮЗИНА Ольга Владимировна,  
ЛЕОНОВ Дмитрий Валерьевич

# АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

Учебное пособие

Редактор Л.В. Комбарова  
Инженер по компьютерному макетированию М.А. Филатова

Подписано в печать 08.12.2011.

Формат 60 × 84/16. 4,65 усл. печ. л. Тираж 100 экз. Заказ № 569.

Издательско-полиграфический центр ФГБОУ ВПО «ТГТУ»  
392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106, к. 14