

РАЗРАБОТКА ПОЛИКОМПОНЕНТНЫХ ПИЩЕВЫХ СИСТЕМ МЕТОДАМИ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Л.С. Зеленина, О.В. Зюзина

*Кафедра «Технологии продовольственных продуктов»,
ФГБОУ ВПО «ТГТУ»; topt@topt.tstu.ru*

Представлена членом редколлегии профессором В.И. Коноваловым

Ключевые слова и фразы: автоматизированный расчет рецептур; сырный продукт для функционального питания; условная оптимизация состава поликомпонентного продукта

Аннотация: Предложен один из возможных вариантов методологии решения ряда практических задач при проектировании поликомпонентных молочных продуктов на примере сырного продукта с использованием разработанного двухуровневого программного модуля. Первый уровень предусматривает компьютерное моделирование рецептуры продукта в среде управления созданной базы данных нутриентного состава пищевого сырья, полуфабрикатов и готовых изделий с учетом потребностей различных категорий населения. Оптимизация базовой рецептуры методом последовательного квадратичного программирования реализована на втором уровне с использованием системы уравнений материального баланса стадии приготовления рецептурной смеси и условий по ее физико-химическому и нутриентному составу.

Обозначения

$A_i = \frac{W_i}{100\%}$ <p>– массовая доля влаги в i-м компоненте;</p> $C_i = \frac{G_i}{100\%}$ <p>– массовая доля жира в i-м компоненте;</p> <p>lb_i – наименьшее допустимое количество i-го компонента в смеси, кг;</p> <p>NP_{PV_j} – потребность в j-м пищевом веществе для целевой группы населения;</p> <p>St_i – стоимость единицы i-го компонента рецептурной смеси, р./кг;</p>	$PV_{ij} = \frac{\omega(PV_{ij})}{100\%}$ <p>– массовая доля j-го пищевого вещества в i-м компоненте;</p> <p>ub_i – наибольшее допустимое количество i-го компонента в смеси, кг;</p> <p>x_i – количество i-го компонента в смеси, кг.</p>
Аббревиатуры	
<p>V/COB – отношение влаги к сухому обезжиренному веществу в смеси, ед;</p> <p>ОЖ – относительное содержание жира в рецептурной смеси, %;</p> <p>СВ – содержание сухих веществ в рецептурной смеси, %.</p>	

При создании сложных пищевых систем – продуктов для функционального питания – приходится соблюдать целый ряд требований как по их медико-биологическому назначению при желательном уровне потребительских достоинств, так и исходя из свойств исходных компонентов. Для решения такого рода задач оправдывают себя методы компьютерного моделирования.

Ключевые аспекты и методологические принципы формирования качества и сбалансированности пищевых продуктов по нутриентному составу изложены в

работах отечественных и зарубежных ученых (Н.Н. Липатов, И.А. Рогов, А.М. Бражников, А. Wollen и др.) [1, 2]. Значительная доля современных разработок направлена на проектирование рецептур и управление свойствами новых продуктов с использованием методов дисперсионного, регрессионного и корреляционного анализа, аппарата нечетких множеств, возможностей информационных баз данных и др. Для разработки рецептур и оценки сбалансированности аминокислотного, жирнокислотного, макро-, микроэлементного, витаминного составов новых видов мясопродуктов А.А. Борисенко предложил программный комплекс «Etalon», реализующий алгоритм рекурсивного цикла и предусматривающий применение специализированной реляционной базы данных для хранения промежуточных результатов оптимизации [3]. Задачи оптимизации рецептурного состава кондитерских изделий решаются с помощью объектно-ориентированного подхода через программу Multifaz [4]. В области проектирования нового поколения молочных продуктов сложного состава для расчета рецептур в качестве альтернативы прямоугольнику Пирсона, не отвечающему современным требованиям, широко используется матричный метод, позволяющий составлять и решать балансовые уравнения по заданным параметрам, а также методы линейного программирования для оптимизации рецептуры по различным критериям [5, 6].

С целью решения задач продуктовой стратегии предприятия-заказчика по расширению ассортимента в области геродиетического питания используется в качестве базового объекта такой молочный продукт, как плавленный сыр, при изготовлении которого существует технологическая возможность регулирования химического состава в соответствии с заданными требованиями: пастообразная консистенция, использование растительного наполнителя, функциональное назначение. Проектирование сырного продукта происходило в три этапа. *Первый этап* предусматривал действия по анализу нормативно-технической документации, выбору продукта-прототипа, созданию «идеального образа», который сочетает медико-биологическое назначение и желательные для потребителя органолептические показатели нового продукта [7]. *Второй этап* включал разработку базы справочных данных для выбора сырьевых компонентов и автоматизированного расчета ряда рецептурных композиций, с последующим изготовлением опытных образцов. На заключительном, *третьем этапе* решалась задача условной оптимизации рецептуры под «идеальный образ».

Продуктом-прототипом был выбран пастообразный плавленный сыр «Кубаночка», рецептура которого приведена в Сборнике технологических инструкций по производству плавленных сыров (г. Углич, 1989 г.) [8]. В первом приближении «Кубаночка» может быть отнесена к категории функциональных продуктов, так как при потреблении 100 г этого плавленного сыра удовлетворяются потребности пожилых людей старше 75 лет на 20 % – в полноценных белках, на 19 % – в ретиноловом эквиваленте, кроме того на 16 % – в незаменимых аминокислотах. При этом следует отметить, что жировая фаза «Кубаночки» на 10–11 % от массы готового продукта представлена животными жирами, дефицитными по эссенциальным жирным кислотам и содержащими до 60 % насыщенных жирных кислот, что при потреблении 100 г продукта поставляет в организм почти 36 % от допустимой суточной нормы. В связи с этим *на первом этапе* проектирования была поставлена задача по модифицированию базовой рецептуры «Кубаночки» с учетом современных тенденций нутрициологии с целью перевода его в категорию продуктов для функционального питания.

Так как проектируемый продукт относится к группе плавленных сырных продуктов, то его молочную основу составили белоксодержащие компоненты – брынза, сухое обезжиренное молоко (СОМ), сыворотка, являющиеся носителями полноценных белков, незаменимых аминокислот, минеральных веществ, лактозы.

В качестве основы жировой составляющей предложен растительный жир, имеющий по сравнению с молочным повышенное содержание полиненасыщенных жирных кислот, пониженное содержание холестерина и трансизомеров жирных кислот [9]. В рецептуре также предусмотрено небольшое количество сливочного масла, как источника жирорастворимых витаминов. Растительная составляющая – тыквенное пюре – в силу своей сочетаемости с молочным сырьем, физиологической активности, доступности и низкой стоимости осталась прежней [10]. Растительную составляющую продукта дополнили структурообразователями – картофельным и кукурузным крахмалом – и регуляторами вкуса – сахарным песком, лимонной кислотой. С целью обеспечения пастообразного состояния в рецептурную смесь включены фосфаты. За основу при разработке состава сырной смеси были взяты эмпирические принципы создания рецептур сладких пастообразных сыров: содержание молочной основы – не менее 30 %; сахарного песка – 15–30 %; соли-плавителя – 2–2,5 %; значение отношения В/СОВ в диапазоне 0,71–2,23; рН сырной смеси в пределах 5,5–5,8 [8, 11].

На *втором этапе* представлялось важным определить технологически допустимые диапазоны введения рецептурных компонентов, обеспечивающие высокие органолептические показатели нового функционального продукта. С этой целью была изготовлена по традиционной для плавленых сыров технологии серия образцов с варьируемым содержанием СВ (30–55 %), ОЖ (20–50 %) и растительного наполнителя (20–30 %). Готовая сырная масса оценивалась по физико-химическим и органолептическим показателям дегустационным методом, и полученные данные обрабатывались с использованием нейронно-сетевой модели средствами MatLab (рис. 1).

Каркасная поверхность графика функции балловой оценки консистенции от доли растительного наполнителя и величины В/СОВ без учета погрешностей на краевых областях имеет форму параболоида с экстремумом в области значений для растительного наполнителя 20–26 % и для В/СОВ – 1,2–1,4.

Автоматизированный расчет рецептурных композиций проводили в программной среде MS Access 2003 с использованием разработанной реляционной базы данных «Проектирование поликомпонентных пищевых продуктов» и совокупности программных модулей по ее управлению (рис. 2).

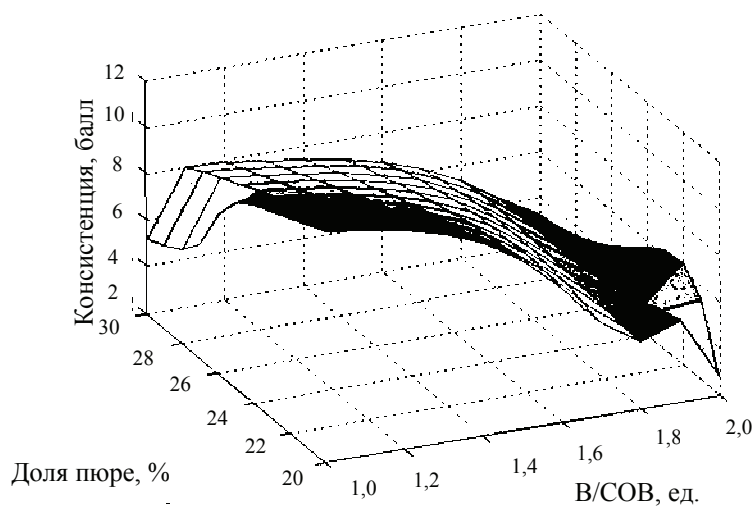


Рис. 1. Результаты дегустационных испытаний опытных образцов

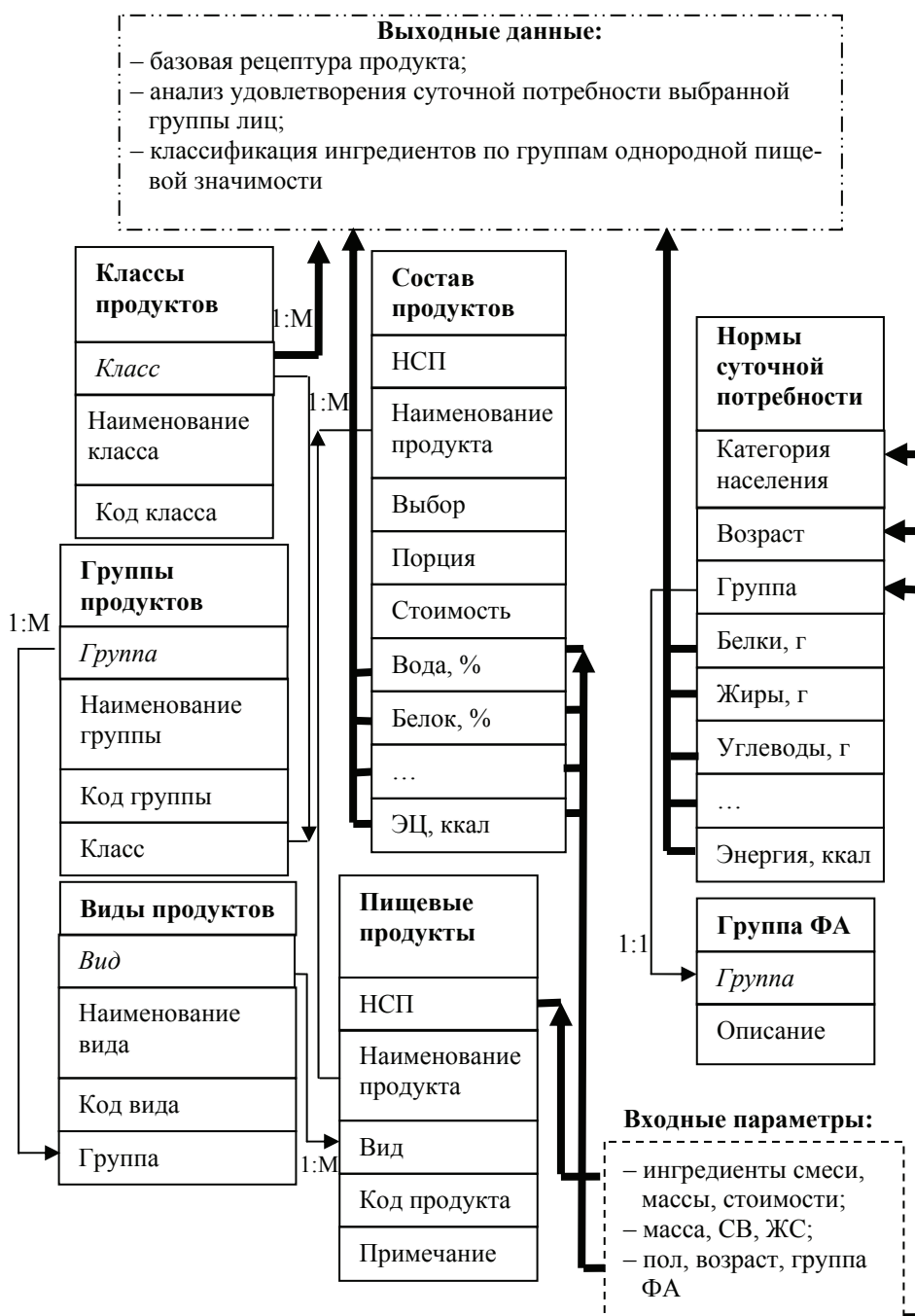


Рис. 2. Логическая схема реляционной базы данных и алгоритм расчета базовой рецептуры нового продукта:
связи 1:1 – «один к одному»; 1:M – «один ко многим»

Классификация пищевых продуктов по группам однородной пищевой значимости (Еврокод-2) (*классы, группы и виды продуктов*) облегчает подбор сырья и полуфабрикатов при разработке рецептуры с учетом гигиенических требований

и норм физиологических потребностей в пищевых веществах и энергии для различных групп населения в зависимости от их физической активности (**ФА**) (таблицы *нормы суточной потребности (НСП)* и *группы ФА*) [12, 13].

Для расчета рецептуры необходимо задать входные параметры рецептурной смеси (количество, содержание сухих веществ, жира); установить наименования рецептурных компонентов; выделить компоненты, регулирующие входные параметры смеси и не регулирующие их; ввести технологически допустимые диапазоны содержания компонентов и выбрать группу населения, ориентированную на потребление нового продукта. Запуск расчета рецептуры инициирует выполнение последовательности запросов на выборку данных из справочных таблиц и вычислительных операций с ними.

На *третьем этапе* была поставлена задача оптимизации рецептурной смеси сырного продукта с целью определения совокупности расходов сырьевых компонентов, обеспечивающих минимальную стоимость сырьевого набора f , с учетом их химического состава и потребностей выбранной группы населения (рис. 3).

Ограничение 1, соответствующее уравнению материального баланса стадии приготовления рецептурной смеси, имеет вид равенства. Ограничение 2, определяющее технологически допустимое содержание i -го компонента в n -компонентной смеси, имеет вид двойного неравенства. Неравенствами представлены также ограничения на физико-химический 3, 4 и нутриентный состав смеси 5. В математическом описании физико-химических свойств рецептурной смеси использованы коэффициенты $K_1 = 1,2$ – минимально допустимая величина отношения В/СОВ и $K_2 = 1,4$ – максимально допустимая величина отношения В/СОВ, определенные экспериментально (см. рис. 1).

Целевая функция стоимости сырьевого набора b нелинейно зависит от n переменных вида $x = \{x_i^{(1)}\}$, $x > 0$, $i = 1, \dots, n$, представляющих собой содержание i -го компонента в рецептурной смеси. Требуется подобрать такие x , при которых значение функции f будет минимальным, то есть $\min_x f^{(1)}(x)$. При этом должны выполняться ограничения 1–5. Задача относится к классу оптимизации нелинейной функции нескольких переменных с ограничениями. Для решения будем использовать программу *fmincon*, которая базируется на методе последовательного квадратичного программирования и использует в общем случае метод Ньютона с внутренним отражением [14].

Результаты оптимизации рецептуры сырного продукта, предназначенного для функционального питания женщин в возрасте 75 лет и старше, приведены в табл. 1.

Содержание СВ и ОЖ в рецептурной смеси составляет 54 и 32 % соответственно, В/СОВ = 1,24 и находится в пределах оптимума (см. рис. 1). Сравнительная характеристика пищевой и энергетической ценности сырного продукта и базового объекта – плавленого сыра «Кубаночка», рассчитанных с использованием разработанной базы данных, приведена в табл. 2.

Нутриентный состав сырного продукта по таким показателям, как содержание жиров, углеводов, энергетическая ценность, отличается от состава продукта-прототипа незначительно (менее 10 %). Отмечено уменьшение содержания белка, кальция и фосфора, ретинолового и ниацинового эквивалентов (**РЭ**, **НЭ** соответственно) из-за снижения доли молочного сырья в рецептуре, однако, эти показатели в сырном продукте находятся на уровне, обеспечивающем его функциональную направленность (10–30 % от суточной потребности в пищевом веществе).

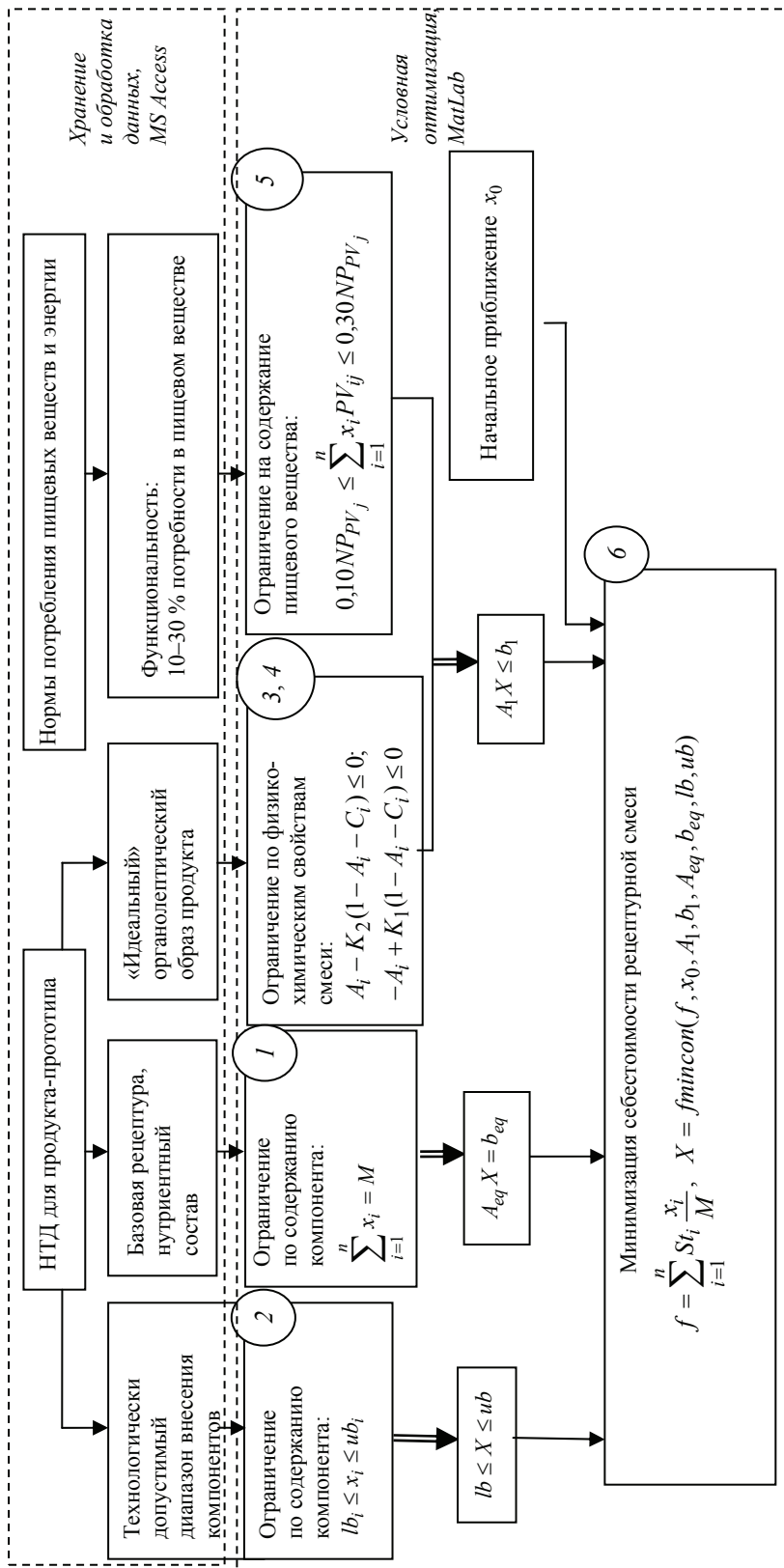


Рис. 3. Алгоритм оптимизации состава рецептурной смеси сырого продукта

Таблица 1

**Оптимизированная рецептура сырного продукта
с растительным наполнителем для геродиетического питания**

Компонент	Расход, кг	Содержание, кг		Стоимость, р./кг	Область допустимых решений, кг
		влаги	жира		
Брынза (из коровьего молока)	23,4	12,2	4,5	200	20–30
Масло подсолнечное	10	0	10,0	40	0–15
Сахар-песок	16		0	27	–
Пюре из тыквы	23,4	19,5	1,5	–	20–26
Соль-плавитель	2	0,1	0	90	2–2,5
Крахмал кукурузный	1,5	0,2			–
Крахмал картофельный		0,3			–
Масло сладко-сливочное несоленое	1,1	0,2	0,9	100	0–3
Молоко сухое нежирное	8	0,3	0	120	0–10
Сыворотка подсырная	13	13		5	0–15
Лимонная кислота	0,1	0		70	0,1
Итого	100	~46	~17	~82	–

Таблица 2

**Результаты расчета пищевой и энергетической ценности
продукта-прототипа и сырного продукта
с растительным наполнителем для геродиетического питания**

Наименование	Норма потребления в сутки	% от нормы, не более	
		продукт-прототип	сырный продукт
Белки, г	55	19,7	15
Жиры, г	57	26,5	29,6
Насыщенные жирные кислоты, г	25	36,3	22,3
Полинасыщенные жирные кислоты, г	11	1,5	59,3
Холестерин, мг	300	11,8	5,8
Углеводы, г	242	9,4	10
Пищевые волокна, г	30	1,9	1,1
Ca, мг	1000	49	35,6
Mg, мг	400	6,1	5,4
P, мг	1200	21,8	14,7
Fe, мг	10	9,3	8,3
РЭ, мкг	1000	19,2	12,3
НЭ, мг	13	22,7	14,9
Витамины:			
токоферол, мг	12	3,1	39,1
В1, мг	1,1	2,4	3,9
В2, мг	1,3	18,4	14,9
С, мг	80	1,1	1,4
Энергетическая ценность, ккал	1700	16,1	16,6

В результате частичной замены животного жира растительным на 40 % снизилось содержание насыщенных жирных кислот, на 50 % – содержание холестерина. Другим положительным моментом, безусловно, следует считать значительное повышение доли полиненасыщенных жирных кислот и токоферолов до значимого уровня, соотносимого с медико-биологическим назначением сырного продукта.

Таким образом, по уровню содержания биологически активных веществ сырный продукт можно отнести к категории продуктов, рекомендуемых для геродиетического питания. Органолептическая оценка образца, изготовленного по оптимизированной рецептуре, соответствует «идеальному образу» продукта – цвет кремовато-желтый, консистенция нежная, пастообразная, вкус чистый молочный с привкусом наполнителя.

Заключение. По результатам исследований были установлены требования к физико-химическому составу, обеспечивающему высокие потребительские достоинства сырного продукта; получен патент на способ получения продукта с растительным наполнителем; выполнены технические условия на продукт сырный плавленый тыквосодержащий [15].

Работа выполнена в рамках конкурса «Гранты для поддержки прикладных исследований молодых ученых 2011 г.».

Список литературы

1. Липатов, Н.Н. Информационно-алгоритмические и терминологические аспекты совершенствования качества многокомпонентных продуктов питания специального назначения / Н.Н. Липатов, О.И. Башкиров, Л. В. Нескоромная // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2002. – № 9. – С. 25–28.
2. Возможные подходы к аналитическому проектированию комбинированных продуктов питания / А.М. Бражников [и др.] // Изв. вузов СССР. Пищ. технология. – 1985. – № 3. – С. 22–25.
3. Борисенко, А.А. Алгоритм моделирования поликомпонентных смесей с использованием рекурсивного цикла и реляционной базы данных / А.А. Борисенко // Информ. технологии. – 2006. – № 7. – С. 69–71.
4. Муратова, Е.И. Проектирование рецептур кондитерских изделий : метод. указания / Е.И. Муратова, С.Г. Толстых. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2010. – 32 с.
5. Захарова, Л.М. Оценка биологической ценности кисломолочных белковых продуктов с зерновыми добавками / Л.М. Захарова, И.А. Мазеева // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2004. – № 1. – С. 39–41.
6. Артюхова, С.И. Оптимизация рецептуры многокомпонентных молочных продуктов / С.И. Артюхова, П.А. Лисин, Е.А. Молибога // Переработка молока. – 2007. – № 4. – С. 42–44.
7. Заворохина, Н.В. Дегустационные методы анализа как инструмент маркетинга при разработке новых пищевых продуктов / Н.В. Заворохина, О.В. Чугунова // Пищевая пром-сть. – 2008. – № 7. – С. 46–50.
8. Сборник технологических инструкций по производству плавленых сыров. – Углич : ВНИИМС, 1989. – 78 с.
9. Состав жирных кислот и стероидов растительных масел / В.В. Хасанов [и др.] // Химия раст. сырья. – 2006. – № 3. – С. 27–31.

10. Лебедева, А.Т. Секреты тыквенных культур / А.Т. Лебедева – М. : Фотон, 2000. – 224 с.
11. Баркан, С.М. Плавленные сыры / С.М. Баркан, М.Ф. Кулешова. – М. : Пищевая пром-сть, 1967. – 284 с.
12. Химический состав российских пищевых продуктов : справочник / под ред. член-корр. МАИ, проф. И.М. Скурихина и академика РАМН, проф. В.А. Тутельяна. – М. : ДеЛи принт, 2002. – 236 с.
13. МР 2.3.1.2432–08. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации от 18.12.2008 [Электронный ресурс]. – Введ. 2008–12–18. – Режим доступа : http://detnadzor.ru/docs/phis_nom_08.pdf. – Загл. с экрана.
14. Дворецкий, Д.С. Компьютерное моделирование 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.
15. Пат. 2429705 Российская Федерация, МПК⁷ А 23 С 19/89. Способ получения сырного продукта с растительным наполнителем / Зеленина Л.С., Зюзина О.В., Кабаргин С.Г., Страшнов Н.М., Филиппова О.В. ; заявитель и патентообладатель ОАО «Орбита», Тамб. гос. техн. ун-т. – № 2009115354/10 ; заявл. 22.04.2009 ; опубл. 27.10.2010, Бюл. № 30. – 3 с.
-

Design of Multicomponent Food Systems by Computer Simulation

L.S. Zelenina, O.V. Zyuzina

*Department "Technology of Food Products", TSTU;
topt@topt.tstu.ru*

Key words and phrases: automated calculation of formulations; cheese product for functional nutrition; conditional optimization of multicomponent product.

Abstract: We propose one of the possible methodologies of solving some practical problems in the design of multicomponent dairy products on the example of cheese product developed on the basis of the two-level software module. The first level involves computer modeling formulation of the product in the management environment of the created database of nutrient composition of food raw materials, intermediate products and finished products to meet the needs of different population groups. The optimization of the basic formulation of sequential quadratic programming method is implemented on the second level with the use of material balance equations of the mixture preparation stage and conditions on its physical-chemical and nutrient composition.

Erarbeitung der polykomponenten Nahrungssysteme durch die Methode der Computermodellierung

Zusammenfassung: Es ist eine der möglichen Varianten der Methodologie der Lösung der Reihe der praktischen Aufgaben bei der Projektierung der polykomponenten Milchnahrungsmittel am Beispiel des Käsenahrungsmittels mit der Benutzung des

erarbeiteten zweiebenen Programmmoduls vorgeschlagen. Die erste Ebene sieht die Computermodellierung der Rezeptur des Nahrungsmittels im Medium der Steuerung der geschaffenen Datenbank der Bestandteile der Nahrungsrohstoffe, der Halbfabrikate und der fertigen Erzeugnissen mit Rücksicht auf die Bedürfnisse der verschiedenen Kategorien der Bevölkerung voraus. Die Optimierung der Basisrezeptur durch die Methode der konsequenten quadratischen Programmierung ist an der zweiten Ebene mit der Benutzung des Systems der Gleichungen der materiellen Bilanz des Stadiums der Vorbereitung des Rezepturgemisches und der Bedingungen nach seiner chemischen und biochemischen Komposition realisiert.

Conception des systèmes alimentaires polycomposants par les méthodes du modélage informatique

Résumé: Est proposée une des variantes possibles dans la méthodologie de la solution d'une série des problèmes pratiques lors de la conception des produits laitiers polycomposants à l'exemple du produit de fromage avec l'utilisation du module programmé à deux niveaux. Le premier niveau prévoit le modélage informatique de la recette du produit dans le milieu de la commande de la base de données de la composition de l'état de la matière alimentaire, des semi-produits et produits finis compte tenu des besoins de différentes catégories de la population. L'optimisation de la recette de base par la méthode de la programmation quadratique successive est réalisée au deuxième niveau avec l'utilisation du système des équations de la balance matérielle de la stade de la préparation du mélange de recette et des conditions d'après l'état physique, chimique et biochimique.

Авторы: *Зеленина Людмила Сергеевна* – аспирант кафедры «Технологии продовольственных продуктов»; *Зюзина Ольга Владимировна* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии продовольственных продуктов», ФГБОУ ВПО «ТГТУ».

Рецензент: *Дворецкий Станислав Иванович* – доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии продовольственных продуктов», проректор по научно-инновационной деятельности, ФГБОУ ВПО «ТГТУ».
