

*Баранов Борис Алексеевич*

д-р техн. наук, профессор

*Шишкина Дарья Ивановна*

аспирант

*Дырива Екатерина Васильевна*

аспирант

ФГБОУ ВО «Российский экономический

университет им. Г.В. Плеханова»

г. Москва

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СРЕДСТВ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ РЕЦЕПТУР ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ**

*Аннотация:* данная статья посвящена методике решения задач разработки новых рецептур и их выбора по заданным параметрам путем математического моделирования. Авторами приведены примеры решения в электронной таблицы MS Excel и в пакете MathCad. С помощью MS Excel и пакета MathCad проведена разработка рецептурной композиции и обоснована необходимость оптимизации использования средств информационных технологий при оптимизации производства функциональных пищевых продуктов.

*Ключевые слова:* функциональные пищевые продукты, математическое моделирование, рецептурные композиции, электронная таблица, математический пакет.

Здоровье человека является одной из главных, если не главной ценностью. От состояния здоровья зависит продолжительность и качество жизни, работоспособность, душевный комфорт. Сохранение здоровья человека является важной государственной проблемой.

Анализ состояния здоровья населения, который был проведен в последние несколько десятилетий специалистами в области здравоохранения, доказывает

значительное увеличение лиц, имеющих заболевания, называемые «болезни цивилизации», или предрасположенность к ним. К этим заболеваниям относят болезни сердца и сосудов, онкологические заболевания, мочекаменная и желчнокаменная болезни, диабет, аллергические заболевания, ожирение, остеопороз, остеохондроз и другие.

В 1985 году S.V. Eaton и M. Connor выдвинули гипотезу, что рост «болезней цивилизации» обусловлен тем, что гены современного человека, которые адаптированы течение почти миллиону лет эволюции к жизненным устоям и пищи древних предков, оказались недостаточно устойчивыми к резким изменениям жизни человека за последние 100–200 лет [1].

Анализ рациона питания обычного современной человека показал, что он недостаточно сбалансирован: чрезмерное употребление жиров и углеводов, особенно легко усваиваемых, недостаточное содержание полноценного белка, витаминов, минеральных веществ, пищевых волокон. Значительная часть серьезных заболеваний и нарушений провоцируется употреблением рафинированных продуктов, в том числе и сахара.

Как считает известный диетолог Г. Кэмпбелл, организм человека может выдержать избыточное потребление рафинированного сахара в течение 20 лет, после чего может возникнуть диабет. Ограничивать потребление сахара целесообразно с детства. Нормальное потребление сахара находится на уровне 50 г в сутки [2]. Следует отметить, что в это количество должен входить сахар, который мы потребляем со всеми пищевыми продуктами, более оптимальным является вариант, когда большая часть сахара попадает в организм не в рафинированном виде, а с овощами, фруктами, ягодами и т. д. Итак отсюда можно сделать вывод, что реальное количество рафинированного сахара, который можно без ущерба для здоровья потреблять значительно меньше.

Основным сырьем кондитерских изделий является сахар, содержание которого в различных кондитерских изделиях различается, однако в подавляющем числе кондитерских изделий он высок. Так, в мучных кондитерских изделиях со-

держание сахара находится в пределах от 30 до 40%, в конфетах до 50%, в мармеладе, зефире и пастильных изделиях от 80 до 95%. Учитывая такое значительное содержание сахара в кондитерских изделиях возникает целесообразность уменьшения сахароемкости этих изделий с целью придания им более безопасных свойств. Необходимость применения альтернативных сахароподобных веществ обуславливается увеличением количества больных сахарным диабетом, потребление сахара которым не рекомендуется в целом.

Группой канадских ученых в 1984 году был введен термин «гликемический индекс» (ГИ), который отображает скорость адсорбции углеводов и представляет собой отношение площади под гликемической кривой после употребления 50 г углеводов, которые содержатся в определенном количестве продукта, которое исследуется в плоскости под гликемической кривой, полученной после употребления 50 г глюкозы (эталон) [3].

Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) еще в 1997 году было рекомендовано для улучшения состояния здоровья населения придерживаться диеты с низким гликемическим индексом, что актуализировало производство в промышленных масштабах функциональных продуктов. Но соблюдение низкогликемической диеты возможно в том случае, когда есть продукты с низким гликемическим индексом, в первую очередь относится к кондитерским изделиям, которые благодаря своему традиционному рецептурному составу имеют высокое содержание углеводов и, соответственно, относительно высокий гликемический индекс.

Итак, возникает необходимость применения при разработке кондитерских изделий сахарозаменителей с как можно ниже гликемическим индексом. Однако, современный этап, кроме изменения отношения к культуре питания, характеризуется также применением современных информационных технологий как части всемирного искусственного интеллекта, который создается для оптимизации условий жизни человечества.

Особую актуальность в настоящее время приобретает решение рецептурных задач по производству функциональных продуктов по использованию информационных технологий, которое позволяет достичь рационального использования сырья при одновременном получении продукта с заданными характеристиками. Тем не менее, формирование системы учета использования сахара (сахарозаменителей) при разработке рецептур функциональных продуктов зависит не только от данного продукта в чистом виде, но и от других уровней сырьевого состава, оптимальное определение которого, кроме учета вкусовых качеств, должно основываться, прежде всего, на концепции здорового питания.

На мезоуровне (субъектов кондитерской промышленности) стоит задача оптимизации рецептур, которая с учетом информатизации общества приобретает характер выбора варианта решения из многих альтернатив, что является стандартной математической задачей, а значит, формирует возможность использования информационных технологий для автоматизации заданного процесса. Развитие средств научных расчетов дает возможность современному специалисту решать поставленные задачи без совершенного знания языков программирования, однако возникает необходимость совершенного владения таким анатомическим инструментом, как система автоматизированных инженерных и экономических расчетов.

Таким образом, математическое и имитационное моделирование становится ключевыми инструментами решения задач оптимизации комплекса свойств пищевого продукта. Оптимизация – это целенаправленная деятельность, которая заключается в получении лучших результатов при соответствующих условиях. Решение задачи оптимизации начинается с установления цели оптимизации, то есть с формирования требований к объекту оптимизации. Правильно сформулированные требования существенно влияют на решение поставленных задач.

Для решения задач оптимизации надо иметь ресурсы оптимизации, т. е. то свободу выбора значений параметров объекта, который оптимизируется. Другими словами, объект оптимизации должен иметь управляемые факторы, кото-

рые позволяют изменять состояние объекта в соответствии с тем или иным требованием. Одной из главных условий правильной постановки оптимальной задачи является наличие количественной оценки качества объекта оптимизации, в данном случае конкретного функционального продукта.

Вид критерия оптимальности определяется конкретным содержанием задачи оптимизации, иногда он может оказывать существенное влияние на выбор метода его решения. Ранее было принято считать, что задачу оптимизации необходимо решать при разработке и внедрении новых технологических процессов, при разработке новой продукции определенной направленности. Результативность таких исследований зависит от удачного использования достижений как в области исследуемого объекта, в нашем случае в кондитерской отрасли, так и в других областях (знание химии, физики, биологии, математики и других наук) [4]. В современных условиях эта задача должна быть приоритетной в системе контроля качества при соблюдении норм ВОЗ к сахаропотреблению.

Решение поставленной задачи осуществляется в несколько этапов:

- 1) сбор информации по качественному составу объекта производства;
- 2) создание линейных уравнений по оптимизации уровня жиров, белков и углеводов;
- 3) анализ технологических ограничений, которые вносятся в уравнение;
- 4) выбор критерия оптимизации энергетической ценности продукта;
- 5) автоматизация выбора оптимального решения.

Рассмотрим разработку рецептуры медовой пасты с максимальной биологической ценностью и по содержанию 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, каротина – не менее 500 мг, B1 – не менее 0,5 мг, B2 – не менее 0,1 мг, C – не менее 1 мг. Возможный диапазон варьирования ГИ в рецептурной композиции паст на основе меда по содержанию сухих веществ в каждом виде сырья (рис. 1) [5] и биологической ценности рецептурных ингредиентов [5].

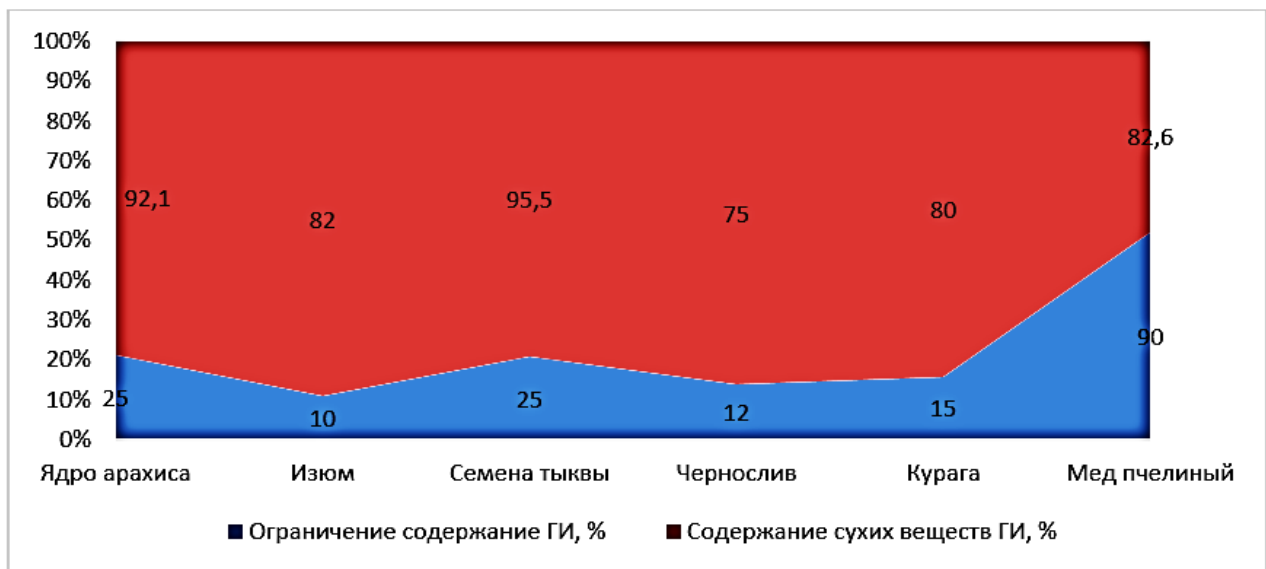


Рис. 1. Рецепттурные композиции паст на основе меда

Постановка задачи: необходимо 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:

содержание Na не менее 50	$\bullet 23x_1+117x_2+157x_4+17x_5+10x_6 \geq 50$
содержание K не менее 500	$\bullet 658x_1+830x_2+634x_3+864x_4+1717x_5+36x_6 \geq 500$
содержание Ca не менее 100	$\bullet 76x_1+83x_2+360x_3+80x_4+160x_5+14x_6 \geq 100$
содержание Mg не менее 100	$\bullet 182x_1+42x_2+311x_3+102x_4+106x_5+3x_6 \geq 100$
содержание P не менее 100	$\bullet 350x_1+129x_2+520x_3+83x_4+146x_5+18x_6 \geq 100$
содержание Fe не менее 20	$\bullet 5x_1+3x_2+60x_3+3x_4+32x_5+0,8x_6 \geq 20$
содержание каротина не менее 500	$\bullet 35x_2+3x_3+60x_4+3500x_5 \geq 500$
содержание B1 не менее 0,5	$\bullet 0,74x_1+0,15x_2+1,8x_3+0,02x_4+0,1x_5+0,01x_6 \geq 0,5$
содержание B2 не менее 0,1	$\bullet 0,11x_1+0,06x_2+0,2x_3+0,1x_4+0,2x_5+0,03x_6 \geq 0,1$
содержание C не менее 1	$\bullet 5,3x_1+x_2+2x_3+3x_4+4x_5 \geq 1$
наличие в рецептуре сухих веществ не менее 75%	$\bullet 92,1x_1+82x_2+95,5x_3+75x_4+80x_5+82x_6 \geq 0,75$
получение единицы продукта	$\bullet x_1+x_2+x_3+x_4+x_5+x_6=1$
Ограничение переменных по нижней границе:	$\bullet x_1 \dots x_6 \geq 0$
Ограничение переменных по верхней границе:	$\bullet x_1 \leq 0,25; x_2 \leq 0,1; x_3 \leq 0,25; x_4 \leq 0,12; x_5 \leq 0,15; x_6 \leq 0,9$

Рис. 2. Условия задачи оптимизации

Создаем электронную таблицу в MS Excel (рис. 3) в соответствии математической моделью (рис. 2).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1	Переменные									
2	2	Имя	Ядро арахиса	Изюм	Семена тыквы	Чернослив	Курага	Мед			
3	3	Содержание							ЦФ	направление	
4	4	Энергет. ценность	1300.15	1239.21	2047	1205.12	5682.3	81.84	0	max	
5	5										
6	6	Вид									
7	7	№	23	117	157	10	17	10	0	≥	50
8	8	К	658	830	634	864	1717	36	0	≥	5.00
9	9	Са	76	83	360	80	160	14	0	≥	100
10	10	МД	182	42	311	102	106	3	0	≥	100
11	11	Р	350	129	520	83	146	18	0	≥	100
12	12	Ре	5	3	60	3	32	0.8	0	≥	20
13	13	Каротин	0	35	3	60	3500	0	0	≥	5.00
14	14	В1	0.74	0.15	0.1.авг	0.02	0.1	0.01	0	≥	0.5
15	15	В2	0.11	0.06	0.2	0.1	0.2	0.03	0	≥	0.1
16	16	С	5.3	1	2	3	4	0	0	≥	1
17	17	Сухие вещества	92.1	82	95.5	75	80	82.6	0	≥	0.75
18	18	Получение единиц продукта	1	1	1	1	1	1	0	=	1
19											
20											
21											
22											
23											

Рис. 3. Расчетная форма задачи

Для определения оптимального состава компонентов было использовано встроенное средство Excel «Поиск решения» [6]. Окно «Поиск решения» с указанной целевой функцией и ограничениями представлены на рис. 4.

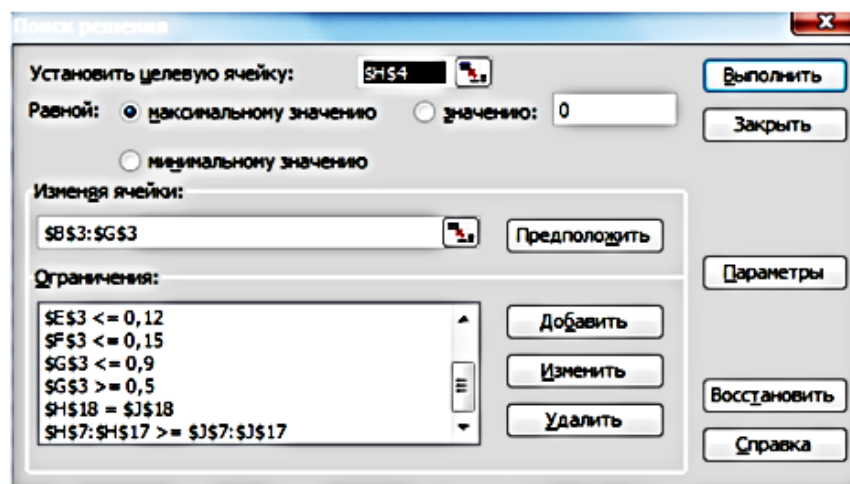


Рис. 4. Диалоговое окно «Поиск решения»

Результаты вычисления расчета сырья представлены на рис. 5.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1	Переменные									
2	2	Имя	Ядро арахиса	Изюм	Семена тыквы	Чернослив	Курага	Мед			
3	3	Содержание	0.090426	0.009574	0.25	0	0.15	0.5	ЦФ	направление	
4	4	Энергет. ценность	1300.15	1239.21	2047	1205.12	5682.3	81.84	0	max	
5	5										
6	6	Вид									
7	7	№	23	117	157	10	17	10	0	≥	50
8	8	К	658	830	634	864	1717	36	0	≥	5:00
9	9	Са	76	83	360	80	160	14	0	≥	100
10	10	МД	182	42	311	102	106	3	0	≥	100
11	11	Р	350	129	520	83	146	18	0	≥	100
12	12	Ре	5	3	60	3	32	0.8	0	≥	20
13	13	Каротин	0	35	3	60	3500	0	0	≥	5:00
14	14	В1	0.74	0.15	0.1.авг	0.02	0.1	0.01	0	≥	0.5
15	15	В2	0.11	0.06	0.2	0.1	0.2	0.03	0	≥	0.1
16	16	С	5.3	1	2	3	4	0	0	≥	1
17	17	Сухие вещества	92.1	82	95.5	75	80	82.6	0	≥	0.75
18	18	Получение единицы продукта	1	1	1	1	1	1	0	=	1
19											
20											
21											
22											
23											

Рис. 5. Искомый оптимальный план решения задачи

Результаты расчета инструмента MS Excel «Поиск решения...»:

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

Для получения медовой пасты с максимальной пищевой ценностью необходимо в ее состав включить 9,04% арахиса, 0,96% изюма, 25% семян тыквы, 15% кураги и 50% меда. При этом максимальная пищевая ценность составляет 1534,4. Таким образом, использование встроенного инструмента MS Excel «Поиск решения...» позволяет решать некоторые задачи оптимизации рецептурного состава.

Проверку решения задачи осуществим в среде MathCad (рис. 6).

```

ORIGIN := 1
n := 6          m := 10
i := 1..n      j := 1..m

x := (0 0 0 0 0 0)T
c := (1300.15 1239.21 2047 1205.12 5682.12 81.84)T
F(x) :=  $\sum_{i=1}^n (c_i \cdot x_i)$ 

A :=  $\begin{pmatrix} 23 & 117 & 157 & 10 & 17 & 10 \\ 658 & 830 & 634 & 864 & 1717 & 36 \\ 76 & 83 & 360 & 80 & 160 & 14 \\ 182 & 42 & 311 & 102 & 106 & 3 \\ 350 & 129 & 520 & 83 & 146 & 18 \\ 5 & 3 & 60 & 3 & 32 & 0.8 \\ 0 & 35 & 3 & 60 & 3500 & 0 \\ 0.74 & 0.15 & 1.8 & 0.02 & 0.1 & 0.01 \\ 0.11 & 0.06 & 0.2 & 0.1 & 0.2 & 0.03 \\ 5.3 & 1 & 2 & 3 & 4 & 0 \end{pmatrix}$ 
B :=  $\begin{pmatrix} 50 \\ 500 \\ 100 \\ 100 \\ 100 \\ 20 \\ 500 \\ 0.5 \\ 0.1 \\ 1 \end{pmatrix}$ 

Given
A · x ≥ B
 $\sum_{i=1}^n x_i = 1$ 
0 ≤ x1 ≤ 0.25      0 ≤ x2 ≤ 0.1      0 ≤ x3 ≤ 0.25
0 ≤ x4 ≤ 0.12     0 ≤ x5 ≤ 0.15     0.5 ≤ x6 ≤ 0.9

P := Maximize(F, x)
P =  $\begin{pmatrix} 0.0904 \\ 0.0096 \\ 0.25 \\ 0 \\ 0.15 \\ 0.5 \end{pmatrix}$ 
F(P) = 1534.4195

```

Рис. 6. Решение задачи в пакете MathCad

Как видим, результаты решения как в MS Excel, так и в математическом пакете MathCad полностью совпали. Оптимизация содержания сахара показывает неоднородность поставленной задачи и возможность ее решения только с использованием средств информационных технологий.

Вывод: методика моделирования многокомпонентных функциональных продуктов позволяет целенаправленно и оперативно разрабатывать рецептуры с заданными свойствами. Данная разработка может быть использована в высших

учебных заведениях при подготовке бакалавров, магистров и аспирантов в научных исследованиях, а также в производственной деятельности инженера-технолога при разработке и совершенствованию рецептур функциональных продуктов нового поколения.

### *Список литературы*

1. Доронин А.Ф. Функциональное питание / А.Ф. Доронин, Б.А. Шендеров. – М.: Грант, 2002. – 296 с.
2. Смоляр В.И. Рациональное питание / В.И. Смоляр. – К: Наук. мнение, 1991. – 368 с.
3. Jenkins DJA, Wolever TMS, Jenkins AL // Lancet. – 1984. – Vol. 2. – P. 388–391.
4. Дорохович А.М. Оптимизации технологических процессов отрасли (кондитерское производство): конспект лекций для студентов. спец. 7.091702 «Технология хлеба, кондитерских, макаронных изделий и пищевых концентратов» / А.М. Дорохович, В.И. Оболкина, А.А. Гавва. – К.: НУХТ, 2009. – 89 с.
5. Химический состав пищевых продуктов. Книга 2: Справочные таблицы содержания аминокислот, жирных кислот, витаминов, макро- и микроэлементов, органических кислот и углеводов / Под ред. Скурихина И.М., Волгарева М.Н. – 2 изд. – М.: Агропромиздат, 1987. – 360 с.
6. Экономические расчеты и бизнес-моделирование в Excel / В. Пикуза. – Питер, 2012. – 400 с.
7. Технологические расчеты при производстве кондитерских изделий / А.Я. Олейникова, Г.О. Магомедов, И.В. Плотникова. – СПб.: Издательство РПП, 2008. – 240 с.