

## Применение методов математического моделирования при проектировании хлебобулочных изделий заданного состава

|                      |              |                       |   |
|----------------------|--------------|-----------------------|---|
| Светлана Н. Тефикова | <sup>1</sup> | s.tefikova@mgutm.ru   |  0000-0001-9086-0781 |
| Игорь А. Никитин     | <sup>1</sup> | nikito.igor@gmail.com |  0000-0002-8988-5911 |
| Андрей В. Гончаров   | <sup>1</sup> | a.goncharov@mgutm.ru  |  0000-0002-3024-495X |
| Игорь В. Соколов     | <sup>1</sup> | i.sokolov@mgutm.ru    |  0000-0002-3113-8091 |
| Мария В. Клоконос    | <sup>1</sup> | m.klokonos@mgutm.ru   |  0000-0001-9752-9151 |

<sup>1</sup> Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (ПКУ), ул. Земляной Вал, 73, г. Москва, 109004, Россия

**Аннотация.** Применение различных видов функционального нетрадиционного растительного и животного сырья в приготовлении хлебобулочных изделий является классическим подходом на пути повышения их биологической и пищевой ценности и требует использования математических методов проектирования рецептур. В работе представлены результаты моделирования состава хлебобулочных изделий с аминокислотным и жирнокислотным составом, рекомендованным ФИЦ Питания и биотехнологии, приближенным к эталонному значению идеального белка. Проведен анализ биологической ценности и биологической эффективности растительного функционального сырья (семян льна, кунжута и кедрового ореха) с целью обогащения им новых продуктов для хлебопекарной промышленности. Сформулирована математическая задача оптимизации и с помощью программной среды компьютерной алгебры Maple произведен расчет оптимального соотношения компонентов для обеспечения максимального приближения биохимического состава по соотношению незаменимых аминокислот, а также  $\omega$ -6 и  $\omega$ -3 полиненасыщенных жирных кислот к эталонному значению в разработанных хлебобулочных изделиях. Примененные в рецептуре соотношения новых компонентов обеспечили повышение на 31,4 % биологической ценности и понижение на 3,8% энергетической ценности разработанных хлебобулочных изделий. Готовый продукт сбалансирован по соотношению  $\omega$ -3:  $\omega$ -6 = 1,0: 3,9 и минеральным веществам Ca: P: Mg = 1: 1,49: 0,6. Удовлетворение суточной потребности в функциональных ингредиентах составляет 21 – 31 % (в контроле – 14 %). Полученные результаты и предложенная методика могут быть применены как модель для обогащения состава различных функциональных пищевых продуктов.

**Ключевые слова:** математическое моделирование, Maple, хлебобулочные изделия, функциональное сырье, незаменимые аминокислоты, полиненасыщенные жирные кислоты.

## Methods of mathematical modeling in design planning of recipes of bakery products with specified composition

|                      |              |                       |   |
|----------------------|--------------|-----------------------|---|
| Svetlana N. Tefikova | <sup>1</sup> | s.tefikova@mgutm.ru   |  0000-0001-9086-0781 |
| Igor A. Nikitin      | <sup>1</sup> | nikito.igor@gmail.com |  0000-0002-8988-5911 |
| Andrey V. Goncharov  | <sup>1</sup> | a.goncharov@mgutm.ru  |  0000-0002-3024-495X |
| Igor V. Sokolov      | <sup>1</sup> | i.sokolov@mgutm.ru    |  0000-0002-3113-8091 |
| Maria V. Klokonos    | <sup>1</sup> | m.klokonos@mgutm.ru   |  0000-0001-9752-9151 |

<sup>1</sup> K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management, Zemlyanoy Val, 73, Moscow, 109004, Russia

**Abstract.** The use of various types of functional non-traditional plant and animal raw materials in the preparation of bakery products is a classic approach to increasing their biological and nutritional value and requires the use of mathematical methods for designing recipes. The paper presents the results of modeling the composition of bakery products with amino acid and fatty acid composition recommended by the Federal Research Center for Nutrition and Biotechnology, close to the reference value of an ideal protein. An analysis of the biological value and biological effectiveness of plant functional raw materials (flax seeds, sesame and pine nuts) was carried out in order to enrich them with new products for the baking industry. A mathematical optimization problem was formulated and, using the Maple computer algebra software environment, the optimal ratio of components was calculated to ensure the maximum approximation of the biochemical composition in terms of the ratio of essential amino acids, as well as  $\omega$ -6 and  $\omega$ -3 polyunsaturated fatty acids, to the reference value in the developed bakery products. The ratios of new components used in the recipe provided an increase of 31.4% in the biological value and a decrease in the energy value of the developed bakery products by 3.8%. The finished product is balanced according to the ratio  $\omega$ -3:  $\omega$ -6 = 1.0: 3.9 and mineral substances Ca: P: Mg = 1: 1.49: 0.6. Satisfaction of the daily requirement for functional ingredients is 21 - 31% (in control - 14%). The results obtained and the proposed methodology can be used as a model for enriching the composition of various functional foods.

**Keywords:** mathematical modeling, Maple, bakery products, functional raw materials, essential amino acids, polyunsaturated fatty acids.

Для цитирования

Тефикова С.Н., Никитин И.А., Гончаров А.В., Соколов И.В., Клоконос М.В. Применение методов математического моделирования при проектировании хлебобулочных изделий заданного состава // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 3. С. 47–52. doi:10.20914/2310-1202-2022-3-47-52

For citation

Tefikova S.N., Nikitin I.A., Goncharov A.V., Sokolov I.V., Klokonos M.V. Methods of mathematical modeling in design planning of recipes of bakery products with specified composition. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 3. pp. 47–52. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-3-47-52

## Введение

На территории России имеются значительные запасы функционального вида сырья, которые можно использовать в приготовлении хлебобулочных изделий. Это позволит увеличить количество выпускаемых функциональных изделий, а также обеспечить население доступными продуктами питания [1–4]. В технологии хлебобулочных изделий не так часто используются различные орехи и семена, такие как кунжут, льняные семечки и кедровые орехи [5, 6]. Именно они могут стать натуральными источниками необходимых нутриентов и оказывать на организм человека положительное влияние [8–10]. Также различные виды животного сырья являются перспективным сырьем для обогащения, однако практически не используется при выпечке хлебобулочных изделий [7].

Совершенствование технологии, разработка новых рецептов хлебобулочных изделий с применением масличного сырья, такого как семена кунжута, льна, ядра кедрового ореха и костного жира представляет собой актуальную научную задачу, благодаря решению которой становится возможным обеспечение населения России продуктами здорового питания. При правильном соотношении компонентов, входящих в состав функционального сырья, возможно составить композицию, сбалансированную по углеводам, белкам, незаменимым аминокислотам и эссенциальным ненасыщенным жирным кислотам  $\omega$ -3 и  $\omega$ -6, а также достигнуть рекомендованное ФИЦ Питания и биотехнологии соотношение кальция, фосфора и магния [11–16].

## Материалы и методы

Расчет необходимой для оценки обогащения новых продуктов биологической ценности разработанных изделий осуществляли в программной среде компьютерной алгебры Maple. Проводили планирование белкового состава многокомпонентной рецептуры и определение коэффициента метаболизации.

Параметры задачи улучшения и гармонизации белкового состава многокомпонентной смеси (их количество равно  $i$ ) обозначили следующим образом.

Пусть

$A_{i,j}$  – масса  $j$ -ой аминокислоты (мг) в 1 г белка  $i$ -го компонента композитной смеси,  $m_i$  – массовая доля  $i$ -го компонента в композитной смеси,  $m_{b,i}$  – массовая доля белка в  $i$ -ом компоненте,

$B_j$  – масса  $j$ -ой незаменимой аминокислоты в эталонном (идеальном) белке (мг / 1г белка).

Тогда  $c_j$  – масса  $j$ -ой незаменимой аминокислоты в 1г белка смеси выражается как

$$c_j = \frac{\sum_{i=1}^k a_{i,j} m_i m_{b,i}}{\sum_{i=1}^k m_i m_{b,i}} \quad (1)$$

и дальнейшие расчеты будут обеспечивать подбор величин  $m_i$  ( $i = 1..K$ ) в таком числовом выражении, чтобы биологическая ценность белка смеси, определяемая соотношением незаменимых аминокислот, приближалась к значениям эталонного белка. Согласно современным представлениям об ассимиляции аминокислот близость структуры белков понимается так, что на анаболические нужды «отсчет» идет от аминокислоты с минимальным скором.

$$C_{min} = \text{Min}(c_j, j = 1 \dots n) \quad (2)$$

где усвоение аминокислот белка композитной смеси вычисляют «параллельно» вектору  $(B_1, \dots, B_n)$  – он умножается на  $C_{min}$ , а оставшиеся аминокислоты в массах  $(c_1 - C_{min} \times B_1, \dots, c_n - C_{min} \times B_n)$  расходуются на необходимую организму энергию, что неэффективно и часть вектора  $(c_1, \dots, c_n)$  нуждается в оптимизации посредством снижения значений.

Предполагаемая схема решения этой задачи предусматривает обозначение несбалансированности белка функцией  $V(m_1, \dots, m_k)$  и коррекцию шага сетки вероятных соотношений компонентов смеси. Общую массу незаменимых аминокислот (мг), необходимых для обеспечения энергией, возьмем как целевую функцию.

$$V(m_1, \dots, m_k) \quad (3)$$

## Результаты и обсуждение

Планирование белкового состава многокомпонентной рецептуры и определение коэффициента метаболизации.

Число незаменимых аминокислот, используемых в дальнейших расчетах, вводим как исходные данные.

```
restArt:with (LineArAlgeBrA):
n:= 8
```

Значения количества незаменимых аминокислот, а именно валина, изолейцина, лейцина, лизина, метионина + цистеина, треонина, триптофана, фенилаланина + тирозина, равны значениям этих компонентов в эталонном белке (в мг/г белка).

$B := [50, 40, 70, 55, 35, 40, 10, 60];$

Задаем значения массы незаменимых аминокислот сохраняя последовательность в белках многокомпонентной смеси.

$A := \text{Matrix}([ [44.73,0], [41.33,0], [81.58,0], [24.90,802.0], [34.28,0], [32.00,0], [9.01,0], [71.04,0] ] );$  и содержание белка в компонентах этой смеси  $m['B'] := [0.106,0.8];$

B: = [50, 40, 70, 55, 35, 40, 10, 60].  
 46,73 0  
 42,53 0  
 80,58 0  
 a := 25,90 802,0  
 35,28 0  
 31,00 0  
 9,91 0  
 74,04 0  
 mB:= [0,103;0,8]

Таким образом ниже представлен расчет значений аминокислот в многокомпонентной смеси (в мг/г):

4,81319  $m_1 \div (0,1030000000 m_1 + 0,8000000000 m_2)$ , 4,38059  $m_1 \div (0,1030000000 m_1 + 0,8000000000 m_2)$ , 8,29974  $m_1 \div (0,1030000000 m_1 + 0,8000000000 m_2)$ , 8,2667700000  $m_1 + 641,6000000 m_2 \div (0,1030000000 m_1 + 0,8000000000 m_2)$ , 3,63384  $m_1 \div (0,1030000000 m_1 + 0,8000000000 m_2)$ , 3,19300  $m_1 \div (0,1030000000 m_1 + 0,8000000000 m_2)$ , 1,02073  $m_1 \div (0,1030000000 m_1 + 0,8000000000 m_2)$ , 7,62612  $m_1 \div (0,1030000000 m_1 + 0,8000000000 m_2)$ .

Необходимо задать функцию значений несбалансированности аминокислот в белках компонентов смеси по отношению к идеальной белку:

V:= proc()  
 locAIC:

Определяем минимальный аминокислотный скор белка смеси с данными массами согласно (2):

C:= min (evAlf(evAl (seq(c[i] / B[i], i = 1..n), {seq (m[j] = Args[j], j = 1..K)}))):

Масса аминокислот, необходимых на энергетические нужды согласно (3):

evAlf (evAl(sum (c[i] - C × B[i], i = 1..n), {seq (m[j] = Args[j], j = 1..K)}));

C:= min (evAlf (evAl (seq (c[i] ÷ B[i], i = 1..n), {seq (m[j] = Args[j], j = 1..K)}))):

evAlf (evAl(sum (c[i] - C × B[i], i = 1..n), {seq (m[j] = Args[j], j = 1..K)}))

Обозначаем начальные значения компонентов смеси.

Массы незаменимых аминокислот в оптимизированной смеси:

M:= evAl (c, {seq(m [i]=\_m[i], i = 1..K)});

M:= [c<sub>1</sub>, c<sub>2</sub>, c<sub>3</sub>, c<sub>4</sub>, c<sub>5</sub>, c<sub>6</sub>, c<sub>7</sub>, c<sub>8</sub>];

Скоры аминокислот в оптимизированной смеси:

S:= evAlf (evAl ([seq (100 × c[i] ÷ B[i], i = 1..n)], {seq (m[i]=\_m [i], i = 1..K)}), 5);

S:= [s<sub>1</sub>, s<sub>2</sub>, s<sub>3</sub>, s<sub>4</sub>, s<sub>5</sub>, s<sub>6</sub>, s<sub>7</sub>, s<sub>8</sub>];

Биологическая ценность будет определяться следующим образом:

100-sum (S[j] - min (seq(S[i], i = 1..nops(B))), j = 1..nops(B)) ÷ nops(B)

Для определения необходимого для получения гармоничного соотношения компонентов рецептуры применяли центральное композиционное ротатбельное планирование (ЦКРП) [9].

Соотношение ω-6: ω-3, рекомендуемое ФИЦ Питания и биотехнологии, в рационе здорового человека составляет 10:1, для «лечебного» питания – от 3:1 до 5:1 [12].

Суточная потребность в такой незаменимой кислоте, как линолевая, составляет 6–10 г., при этом минимальное потребление должно составлять 2–6 г.

Оптимальное соотношение полиненасыщенных жирных кислот ω-3: ω-6 в хлебобулочных изделиях можно достигнуть при комбинации ингредиентов.

Соотношение компонентов смеси

> eq1:= A + B = 1;

eq1:= A + B = 1

Содержание незаменимых кислот в компонентах новых ингредиентов

> A\_omegaA3:= 0.004; B\_omegaA\_3:= 0.1379;

A\_omegaA6:= 0.459; B\_omegaA6:= 0.39;

A\_omegaA3:= 0,004

B\_omegaA\_3:= 0,1379

A\_omegaA6:= 0,459

B\_omegaA6:= 0,39

Содержание жиров в компонентах

> A\_volume\_oil:= 0.5175;

B\_volume\_oil:= 0.605;

A\_volume\_oil:= 0,5175

B\_volume\_oil:= 0,605

eq2:=(A\_omegaA3 · A · A\_volume\_oil + B\_omegaA\_3 · B · B\_volume\_oil) / (A\_omegaA6 · A · A\_volume\_oil + B\_omegaA6 · B · B\_volume\_oil) = 1/4;

eq2 := a + 0,0834295b0,2375325a + 0 =  $\frac{1}{4}$

Для проверки полученного решения выразим соотношение доли компонента А через долю компонента В

> elimin Ate({eq1, eq2}, A);

[[A = -1.B + 1.], {-0,08176522500 B + 0.05741312500}]

Нахождение из соотношений долей компонентов А и В

> solve({eq1, eq2});

{A = 0,2689659670 B = 0,7110340330}

Таким образом с помощью проведенных расчётов получаем оптимальное соотношение исходных функциональных сырьевых ингредиентов.

**Заключение**

Полученные результаты математического моделирования позволили разработать изделия, отличающиеся от контрольных образцов улучшенными показателями качества. Примененные в рецептуре соотношения новых компонентов обеспечили повышение на 31,4% биологической ценности и понижение на 3,8% энергетической ценности. Изделия сбалансированы по соотношению  $\omega$ -3 :  $\omega$ -6 = 1,0 : 3,9 и минеральным веществам Ca: P = 1 : 1,49. Удовлетворение суточной потребности в функциональных ингредиентах составляет 21–31% (в контроле – 14%).

Применение масличного сырья в рецептуре и технологии сдобного хлеба в качестве функциональных ингредиентов научно обосновано и подтверждается соотношением полиненасыщенных жирных кислот и минеральных веществ – Ca: P : Mg = 1 : 1,49: 0,6.

**Благодарности**

Исследования выполнялись с использованием оборудования ЦКП «Исследовательский центр пищевых и химических технологий» КубГТУ (СКР\_3111) развитие которого поддерживается Министерством науки и высшего образования РФ (Соглашение № 075–15–2021–679).

Работа выполнена при поддержке научно-образовательного центра мирового уровня «Российская Арктика: новые материалы, технологии и методы исследования» и при поддержке гранта РФФИ 20–316–90043 «Обоснование подходов и разработка методологии проектирования продуктов и рационов персонализированного питания для потребителей с предрасположенностью к нарушению минеральной плотности костной ткани и развитию остеопороза».

**Литература**

- 1 Albuquerque T.G., Santos J., Silva M.A., Oliveira M.B. et al. Multivariate characterization of salt and fat content, and the fatty acid profile of pastry and bakery products // *Food & Function*. 2017. V. 8. №. 11. P. 4170–4178. doi: 10.1039/c7fo01191a
- 2 Antonella M., Orecchio S. Fatty Acid Composition of Gluten-Free Food (Bakery Products) for Celiac People // *Foods*. 2018. V. 7. №. 6. P. 95. doi: 10.3390/foods7060095
- 3 Ahsan S., Khaliq A., Chughtai M.F.J., Nadeem M. et al. Functional exploration of bioactive moieties of fermented and non-fermented soy milk with reference to nutritional attributes // *Journal of microbiology, biotechnology and food sciences*. 2020. V. 10. №. 1. P. 145–149. doi: 10.15414/jmbfs.2020.10.1.145–149
- 4 Berezina N.A., Artemov A.V., Nikitin I.A., Budnik A.A. The method of computer-aided design of a bread composition with regard to biomedical requirements // *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*. 2019. V. 10. №. 5. P. 137–143. doi: 10.14569/ijacsa.2019.0100517
- 5 Brodowska M., Guzek D., Wierzbicka A. Modern technological solutions used in the production of bakery products with high biological // *Advances in Science and Technology Research Journal*. 2014. V. 8. №. 22. P. 83–92. doi.org/10.12913/22998624.1105181
- 6 Kulushtayeva B., Nurymkhan G., Smolnikova F., Okuskhanova E. et al. Technology of production, nutritional value and food safety of gluten free bread // *International Journal of Recent Technology and Engineering*. 2019. V. 7. №. 6. P. 1338–1344. doi: 10.1007/978–3–030–73898–3\_3
- 7 Purlis E. Browning development in bakery products // *Journal of Food Engineering*. 2010. V. 99. №. 3. P. 239–249. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2010.03.008
- 8 Rustemova A., Kydyraliev N., Kirillova T., Sadygova M. et al. Modeling of recipes of special purpose bakery products // *BIO Web of Conferences*. 2020. №. 27. P. 6. doi: 10.1051/bioconf/20202700017
- 9 Smolnikova F., Khayrullin M., Pasko O., Zhukovskaya S. et al. Main Problems Of School Nutrition // *International Journal Of Scientific & Technology Research*. 2020. V. 9. №. 2. P. 1105–1108.
- 10 Smolnikova F., Okuskhanova E., Khayrullin M., Pasko O. et al. Main Problems of School Nutrition // *Indian Journal of Forensic Medicine & Toxicology*. 2019. V. 19. №. 4. P. 1633–1638. doi:10.5958/0973–9130.2019.00540.1
- 11 Suychinov A., Rebezov M., Maksimyuk N., Khairullin M. et al. Vitamins and their role in human body // *International Journal of Pharmaceutical Research*. 2019. V. 11. №. 3. P. 1246–1248. doi: 10.31838/ijpr/2019.11.03.018
- 12 Torshina O., Panova L., Moskvina E., Smirnova L. et al. Simulation methods as an effective tool for solving healthy applied and theoretical problems // *International Journal of Pharmaceutical Research*. 2019. V. 11. №. 4. P. 286–290. doi: 10.31838/ijpr/2019.11.04.056
- 13 Коломникова Я.П., Дерканосова А.А., Мануковская М.В., Литвинова Е.В. Влияние нетрадиционного растительного сырья на биотехнологические свойства и структуру сдобного теста // *Вестник ВГУИТ*. 2015. Т. 3. № 65. С. 157–160. doi: 10.20914/2310–1202–2015–3–157–160
- 14 Кретова Ю.И., Цирульниченко Л.А. Математическое моделирование как эффективный инструмент прогнозирования и управления производственными процессами [в пищевой и перерабатывающей промышленности] // *Вестник южно-уральского государственного университета. Серия пищевые и биотехнологии*. 2018. Т. 6. № 1. С. 5–13.
- 15 Попов Е.С., Пожидаева Е.А., Певцова Е.С., Соколова А.В. и др. Применение методов математического моделирования в оптимизационном проектировании технологических процессов производства пищевых продуктов // *Вестник ВГУИТ*. 2019. Т. 81. № 2(80). С. 47–55. doi: 10.20914/2310–1202–2019–2–47–55
- 16 Родионова Н.С., Алексеева Т.В., Попова Н.Н., Попов Е.С. и др. Разработка растительной комплексной пищевой системы на основе продуктов переработки зародышей пшеницы сбалансированного жирнокислотного состава // *Фундаментальные исследования*. 2013. № 11–8. С. 1594–1597.

17 Shishkina A.N., Sadygova M.K., Belova M.V., Astashov A.N. et al. Use of secondary raw material of animal products in the technology of production of bakery products based on wheatamaranth mixture // Scientific Study & Research. Chemistry & Chemical Engineering, Biotechnology, Food Industry. 2019. V. 20. №. 2. P. 303-311.

18 da Rocha Lemos Mendes G., Souto Rodrigues P., de las Mercedes Salas-Mellado M., Fernandes de Medeiros Burkert J. et al. Defatted rice bran as a potential raw material to improve the nutritional and functional quality of cakes // Plant Foods for Human Nutrition. 2021. V. 76. №. 1. P. 46-52. doi: 10.1007/s11130-020-00872-6

19 San H., Laorenza Y., Behzadfar E., Sonchaeng U. et al. Functional polymer and packaging technology for bakery products // Polymers. 2022. V. 14. №. 18. P. 3793. doi: 10.3390/polym14183793

20 Bakin I.A., Mustafina A.S., Vechtomova E.A., Kolbina A.Y. The use of secondary resources of fruit raw material in technology of confectionery and bakery products // Food Process: Tech Technol. 2017. V. 45. P. 5-11.

## References

1 Albuquerque T.G., Santos J., Silva M.A., Oliveira M.B. et al. Multivariate characterization of salt and fat content, and the fatty acid profile of pastry and bakery products. Food & Function. 2017. vol. 8. no. 11. pp. 4170–4178. doi: 10.1039/c7fo01191a

2 Antonella M., Orecchio S. Fatty Acid Composition of Gluten-Free Food (Bakery Products) for Celiac People. Foods. 2018. vol. 7. no. 6. pp. 95. doi: 10.3390/foods7060095

3 Ahsan S., Khaliq A., Chughtai M.F.J., Nadeem M. et al. Functional exploration of bioactive moieties of fermented and non-fermented soy milk with reference to nutritional attributes. Journal of microbiology, biotechnology and food sciences. 2020. vol. 10. no. 1. pp. 145–149. doi: 10.15414/jmbfs.2020.10.1.145–149

4 Berezina N.A., Artemov A.V., Nikitin I.A., Budnik A.A. The method of computer-aided design of a bread composition with regard to biomedical requirements. International Journal of Advanced Computer Science and Applications. 2019. vol. 10. no. 5. pp. 137–143. doi: 10.14569/ijacsa.2019.0100517

5 Brodowska M., Guzek D., Wierzbicka A. Modern technological solutions used in the production of bakery products with high biological. Advances in Science and Technology Research Journal. 2014. vol. 8. no. 22. pp. 83–92. doi: 10.12913/22998624.1105181

6 Kulushtayeva B., Nurymkhan G., Smolnikova F., Okuskhanova E. et al. Technology of production, nutritional value and food safety of gluten free bread. International Journal of Recent Technology and Engineering. 2019. vol. 7. no. 6. pp. 1338–1344. doi: 10.1007/978-3-030-73898-3\_3

7 Purlis E. Browning development in bakery products. Journal of Food Engineering. 2010. vol. 99. no. 3. pp. 239–249. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2010.03.008

8 Rustemova A., Kydyraliev N., Kirillova T., Sadygova M. et al. Modeling of recipes of special purpose bakery products. BIO Web of Conferences. 2020. vol. 27. pp. 6. doi: 10.1051/bioconf/20202700017

9 Smolnikova F., Khayrullin M., Pasko O., Zhukovskaya S. et al. Main Problems Of School Nutrition. International Journal Of Scientific & Technology Research. 2020. vol. 9. no. 2. pp. 1105–1108.

10 Smolnikova F., Okuskhanova E., Khayrullin M., Pasko O. et al. Main Problems of School Nutrition. Indian Journal of Forensic Medicine & Toxicology. 2019. vol. 19. no. 4. pp. 1633–1638. doi:10.5958/0973-9130.2019.00540.1

11 Suychinov A., Rebezov M., Maksimuk N., Khairullin M. et al. Vitamins and their role in human body. International Journal of Pharmaceutical Research. 2019. vol. 11. no. 3. pp. 1246–1248. doi: 10.31838/ijpr/2019.11.03.018

12 Torshina O., Panova L., Moskvina E., Smirnova L. et al. Simulation methods as an effective tool for solving healthy applied and theoretical problems. International Journal of Pharmaceutical Research. 2019. vol. 11. no. 4. pp. 286–290. doi: 10.31838/ijpr/2019.11.04.056

13 Kolomnikova Y.P., Derkanosova A.A., Manukovskaya M.V., Litvinova E.V. Effect of non-traditional vegetable raw materials on the properties and biotechnological structure pastry. Proceedings of VSUET. 2015. vol. 3. no. 65. pp. 157–160. doi: 10.20914/2310-1202-2015-3-157-160 (in Russian).

14 Kretova Y.I., Cirulnichenko L.A. Mathematical modeling as an effective tool for forecasting and managing production processes [in the food and processing industry]. Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology. 2018. vol. 6. no. 1. pp. 5–13. (in Russian).

15 Popov E.S., Pozhidaeva E.A., Pevtsova E.S., Sokolova A.V. et al. Application of methods of mathematical modeling in the optimization design of technological processes of food production. Proceedings of VSUET. 2019. vol. 81. no. 2(80). pp. 47–55. doi: 10.20914/2310-1202-2019-2-47-55 (in Russian).

16 Rodionova N.S., Alekseeva T.V., Popova N.N., Popov E.S. et al. Development of a plant complex food system based on processed products of wheat germ with a balanced fatty acid composition. Fundamental research. 2013. no. 11–8. pp. 1594–1597. (in Russian).

17 Shishkina A.N., Sadygova M.K., Belova M.V., Astashov A.N. et al. Use of secondary raw material of animal products in the technology of production of bakery products based on wheatamaranth mixture. Scientific Study & Research. Chemistry & Chemical Engineering, Biotechnology, Food Industry. 2019. vol. 20. no. 2. pp. 303-311.

18 da Rocha Lemos Mendes G., Souto Rodrigues P., de las Mercedes Salas-Mellado M., Fernandes de Medeiros Burkert J. et al. Defatted rice bran as a potential raw material to improve the nutritional and functional quality of cakes. Plant Foods for Human Nutrition. 2021. vol. 76. no. 1. pp. 46-52. doi: 10.1007/s11130-020-00872-6

19 San H., Laorenza Y., Behzadfar E., Sonchaeng U. et al. Functional polymer and packaging technology for bakery products. Polymers. 2022. vol. 14. no. 18. pp. 3793. doi: 10.3390/polym14183793

20 Bakin I.A., Mustafina A.S., Vechtomova E.A., Kolbina A.Y. The use of secondary resources of fruit raw material in technology of confectionery and bakery products. Food Process: Tech Technol. 2017. vol. 45. pp. 5-11.

**Сведения об авторах**

**Светлана Н. Тефикова** к.т.н., доцент, кафедра биотехнологий пищевых продуктов из растительного и животного сырья, Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского, ул. Земляной Вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, s.tefikova@mgutm.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-9086-0781>

**Игорь А. Никитин** д.т.н., профессор, зав. кафедрой биотехнологий пищевых продуктов из растительного и животного сырья, Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского, ул. Земляной Вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, nikito.igor@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-8988-5911>

**Андрей В. Гончаров** к.т.н., доцент, зав. кафедрой систем автоматизированного управления, Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского, ул. Земляной Вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, a.goncharov@mgutm.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-3024-495X>

**Игорь В. Соколов** к.т.н., доцент, кафедра систем автоматизированного управления, Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского, ул. Земляной Вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, i.sokolov@mgutm.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-3113-8091>

**Мария В. Клоконос** к.т.н., доцент, кафедра биотехнологий пищевых продуктов из растительного и животного сырья, Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского, ул. Земляной Вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, m.klokonos@mgutm.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-9752-9151>

**Вклад авторов**

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

**Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Information about authors**

**Svetlana N. Tefikova** Cand. Sci. (Engin.), associate professor, biotechnology of food products from plant and animal raw materials department, K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management, Zemlyanoy Val, 73, Moscow, 109004, Russia, s.tefikova@mgutm.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-9086-0781>

**Igor A. Nikitin** Dr. Sci. (Engin.), associate professor, head of biotechnology of food products from plant and animal raw materials department, K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management, Zemlyanoy Val, 73, Moscow, 109004, Russia, nikito.igor@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-8988-5911>

**Andrey V. Goncharov** Cand. Sci. (Engin.), associate professor, head of automated control systems department, K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management, Zemlyanoy Val, 73, Moscow, 109004, Russia, a.goncharov@mgutm.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-3024-495X>

**Igor V. Sokolov** Cand. Sci. (Engin.), associate professor, automated control systems department, K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management, Zemlyanoy Val, 73, Moscow, 109004, Russia, i.sokolov@mgutm.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-3113-8091>

**Maria V. Klokonos** Cand. Sci. (Engin.), associate professor, biotechnology of food products from plant and animal raw materials department, K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management, Zemlyanoy Val, 73, Moscow, 109004, Russia, m.klokonos@mgutm.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-9752-9151>

**Contribution**

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

**Conflict of interest**

The authors declare no conflict of interest.

---

**Поступила** 14/07/2022

**После редакции** 08/08/2022

**Принята в печать** 30/08/2022

---

**Received** 14/07/2022

**Accepted in revised** 08/08/2022

**Accepted** 30/08/2022

---