

Научная статья

УДК 664

EDN KGGTVS

**Математическое моделирование  
технологии получения соево-грибной пасты**

**Надежда Юрьевна Корнева<sup>1</sup>,** аспирант, научный сотрудник  
**Екатерина Ивановна Решетник<sup>2</sup>,** доктор технических наук, профессор  
**Оксана Викторовна Литвиненко<sup>3</sup>,** кандидат ветеринарных наук

<sup>1, 2</sup> Дальневосточный государственный аграрный университет

Амурская область, Благовещенск, Россия

<sup>1, 3</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт сои

Амурская область, Благовещенск, Россия

<sup>1</sup> [knju@vniisoi.ru](mailto:knju@vniisoi.ru), <sup>2</sup> [soia-28@yandex.ru](mailto:soia-28@yandex.ru), <sup>3</sup> [lov@vniisoi.ru](mailto:lov@vniisoi.ru)

**Аннотация.** Статья посвящена изучению процесса получения соево-грибной пасты путем термокислотной коагуляции соево-грибной дисперсной системы водным раствором аскорбиновой кислоты. С помощью методов математического моделирования обоснованы оптимальные параметры технологического процесса получения соево-грибной пасты. Установлено, что массовая доля водного раствора аскорбиновой кислоты составляет 13,5 %; концентрация водного раствора аскорбиновой кислоты – 5,0 %, а продолжительность формирования сгустка – 5,1 минут.

**Ключевые слова:** соево-грибная паста, технология, математическое моделирование

**Для цитирования:** Корнева Н. Ю., Решетник Е. И., Литвиненко О. В. Математическое моделирование технологии получения соево-грибной пасты // Инновации в пищевой промышленности: образование, наука, производство : материалы VI всерос. (нац.) науч.-практ. конф. (Благовещенск, 20 февраля 2024 г.). Благовещенск : Дальневосточный ГАУ, 2024. С. 15–22.

Original article

**Mathematical modeling  
of soy-mushroom paste production technology**

**Nadezhda Yu. Korneva<sup>1</sup>,** Postgraduate Student, Researcher

**Ekaterina I. Reshetnik<sup>2</sup>,** Doctor of Technical Sciences, Professor

**Oksana V. Litvinenko<sup>3</sup>,** Candidate of Veterinary Sciences

<sup>1, 2</sup> Far Eastern State Agrarian University, Amur region, Blagoveshchensk, Russia

<sup>1, 3</sup> All-Russian Scientific Research Institute of Soybean

---

Amur region, Blagoveshchensk, Russia

<sup>1</sup> [knju@vniisoi.ru](mailto:knju@vniisoi.ru), <sup>2</sup> [soia-28@yandex.ru](mailto:soia-28@yandex.ru), <sup>3</sup> [lov@vniisoi.ru](mailto:lov@vniisoi.ru)

**Abstract.** The article is devoted to the study of the process of obtaining soy-mushroom paste by thermic acid coagulation of the soy-mushroom dispersed system with an aqueous solution of ascorbic acid. Using mathematical modeling methods, the optimal parameters of the technological process for obtaining soy-mushroom paste are substantiated. It was found that the mass fraction of an aqueous solution of ascorbic acid is 13.5%; the concentration of an aqueous solution of ascorbic acid is 5.0%, and the duration of clot formation is 5.1 minutes.

**Keywords:** soy-mushroom paste, technology, mathematical modeling

**For citation:** Korneva N. Yu., Reshetnik E. I., Litvinenko O. V. Mathematical modeling of soy-mushroom paste production technology. Proceedings from Innovations in the food industry: education, science, production: *VI Vserossijskaya (nacional'naya) nauchno-prakticheskaya konferenciya – VI All-Russian (National) Scientific and Practical Conference*. (PP. 15–22), Blagoveshchensk, Dal'nevostochnyj gosudarstvennyj agrarnyj universitet, 2024 (in Russ.).

**Введение.** Производство продуктов питания, полезных для здоровья человека, является одним из важнейших направлений развития современной пищевой промышленности. В основе технологических решений, направленных на производство продуктов здорового питания, лежат принципы пищевой комбинаторики, в том числе использование сырья с известными и доказанными эффективными свойствами [1–3].

Наиболее популярным сырьем для получения комбинированных продуктов питания является соя. В состав соевого зерна входят: комплементарный белок, жир с эссенциальными жирными кислотами ( $\omega$ -3 и  $\omega$ -6), пищевые волокна, витамины группы В (в том числе биотин и холин), минеральные легкоусвояемые соли (K, Ca, Si, Mg и др.); фосфолипиды, изофлавоноиды и энзимы [4, 5].

Лесные грибы являются натуральными природными источниками минеральных веществ (Fe, P, Ca, K и Se), витаминов (B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, C, PP, E), клетчатки, гликогена и других биологически активных веществ. Кроме того, они хорошо сочетаются с соей [6, 7]. Для дополнительного обогащения продуктов витаминами и придания им антиоксидантных свойств в пищевой промышленности

используют аскорбиновую кислоту [8].

При создании комбинированных продуктов питания с заданными свойствами актуальным является использование современных методов моделирования рецептур и технологий в пищевой индустрии.

**Целью исследований** являлось *изучение процесса и математическое обоснование параметров производства соево-грибной пасты*.

**Объекты и методы исследований.** Исследования проводили в лаборатории переработки сельскохозяйственной продукции Всероссийского научно-исследовательского института сои. Объектами исследований являлись: зерно сои сорта Сентябринка селекции Всероссийского НИИ сои; смесь сушеных лесных грибов, состоящая из белых грибов и подосиновиков; аскорбиновая кислота в виде водного раствора, а также процесс получения соево-грибной пасты.

Математическую обработку экспериментальных данных проводили с использованием табличного процессора Microsoft Excel; математическое моделирование и определение трехфакторных зависимостей результатов исследований – с использованием программного обеспечения SigmaPlot 12.0 [9, 10].

Технология производства соево-грибной пасты заключалась в получении соево-грибной дисперсной системы путем совместного измельчения и экстракции предварительно подготовленных зерна сои и смеси грибов в соотношении 1:1 при гидромодуле 1:6; которую в дальнейшем подвергали термокислотной коагуляции водным раствором аскорбиновой кислоты и последующему прессованию до образования соево-грибной массы влажностью 72–75 % [6, 11].

**Результаты исследований.** При обосновании параметров получения соево-грибной пасты был изучен процесс коагуляции соево-грибной дисперсной системы раствором аскорбиновой кислоты. В ходе исследований установлено, что качество соево-грибной пасты зависело от следующих факторов: массовой

## Пленарное заседание

доли коагулянта ( $M_k$ , %); концентрации аскорбиновой кислоты (K, %); продолжительности коагуляции ( $\tau$ , мин). За критерий оптимизации была принята температура коагуляции соево-грибной дисперсной системы ( $t$ , °C). Обозначения и уровни варьирования факторов приведены в таблице 1.

**Таблица 1 – Факторы и уровни их варьирования**

Уровни	Обозначения	Факторы		
		$M_k$ , % ( $X_1$ )	K, % ( $X_2$ )	$\tau$ , мин. ( $X_3$ )
Интервал варьирования	E	2,5	2,0	1,0
Верхний уровень	+1	15,0	7,0	6,0
Основной уровень	0	12,5	5,0	5,0
Нижний уровень	-1	10,0	3,0	1,0

После реализации эксперимента по стандартной матрице ортогонального центрально-композиционного плана и в результате регрессионного анализа получили следующую математическую модель процесса получения соево-грибной пасты (1):

$$Y = 182,303 - 8,295 \cdot M_k - 3,622 \cdot K - \\ - 19,313 \cdot \tau - 0,125 \cdot M_k \cdot K + 0,413 \cdot K \cdot \tau + \\ + 0,330 \cdot M_k^2 + 0,264 \cdot K^2 + 1,725 \cdot \tau^2 \rightarrow opt \quad (1)$$

Проверку адекватности полученного уравнения регрессии результатам опыта проводили с использованием F-критерия Фишера. Установлено, что  $F_{\text{факт}} = 7,89 > F_t = 2,69$ , следовательно, уравнение адекватно описывает выявленную зависимость.

Данную математическую модель исследовали на экстремум посредством ее трехмерной графической интерпретации (рис. 1–3). Это позволило наглядно представить влияние трех факторов на процесс структурообразования в соево-грибной дисперсной системе.

**Заключение.** Таким образом, решив задачу, установили, что для процесса получения соево-грибной пасты, представляющей собой однородную, мелкодисперсную пастообразную массу светло-коричневого цвета, с прият-

ным умеренно выраженным грибным привкусом и запахом, оптимальными являются параметры:

- 1) массовая доля водного раствора аскорбиновой кислоты – 13,5 %;
- 2) концентрация водного раствора аскорбиновой кислоты – 5,0 %;
- 3) продолжительность формирования сгустка – 5,1 минут.

При этом температура, при которой происходит процесс структурообразования, составляет 67,2 °C.

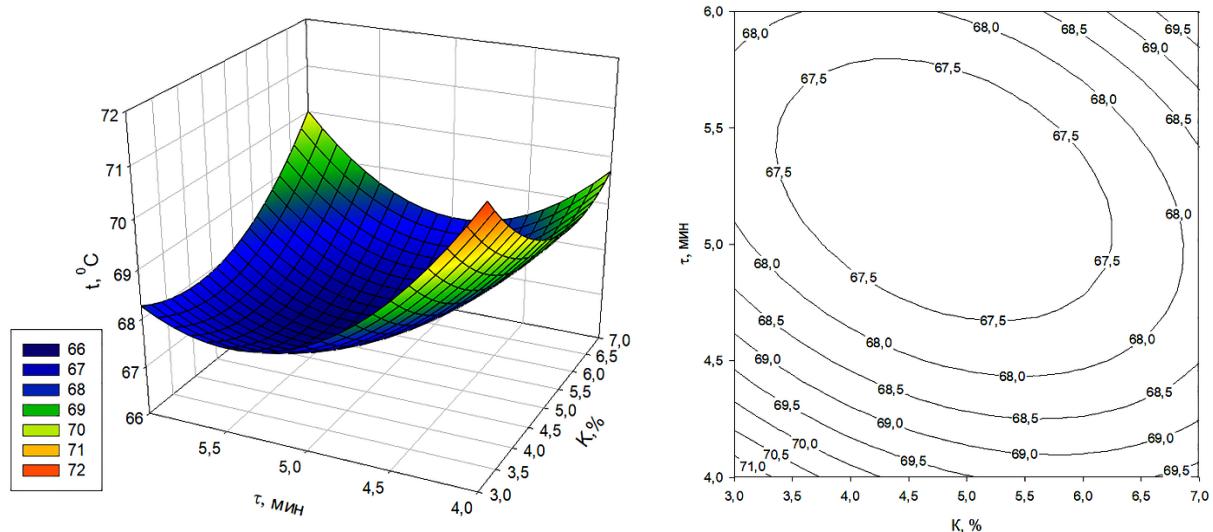


Рисунок 1 – Поверхность отклика  $Y=f(M_k=12,5\%; K; \tau)$  и ее сечения

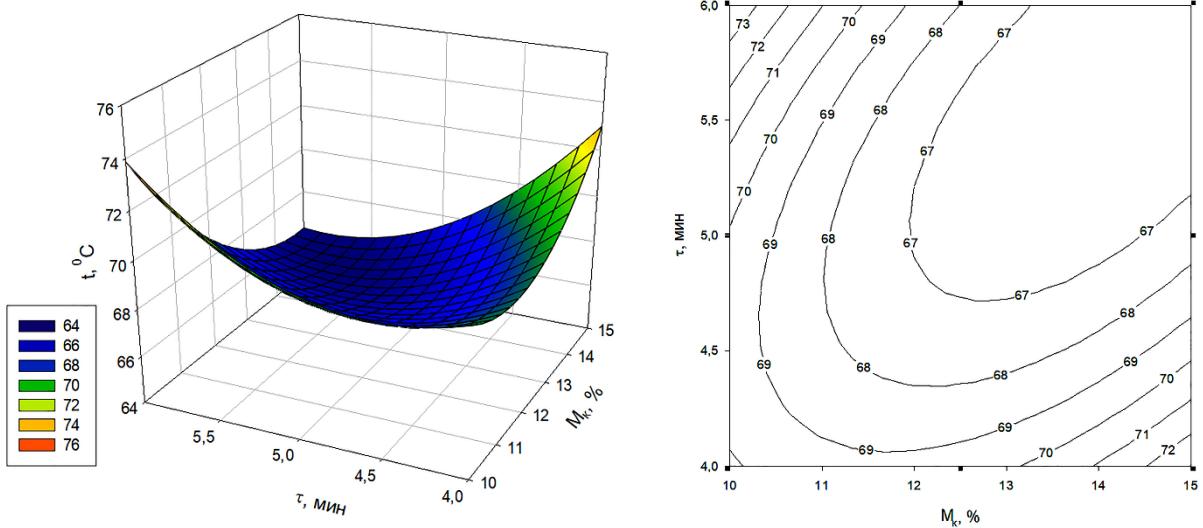


Рисунок 2 – Поверхность отклика  $Y=f(M_k; K=5\%; \tau)$  и ее сечения

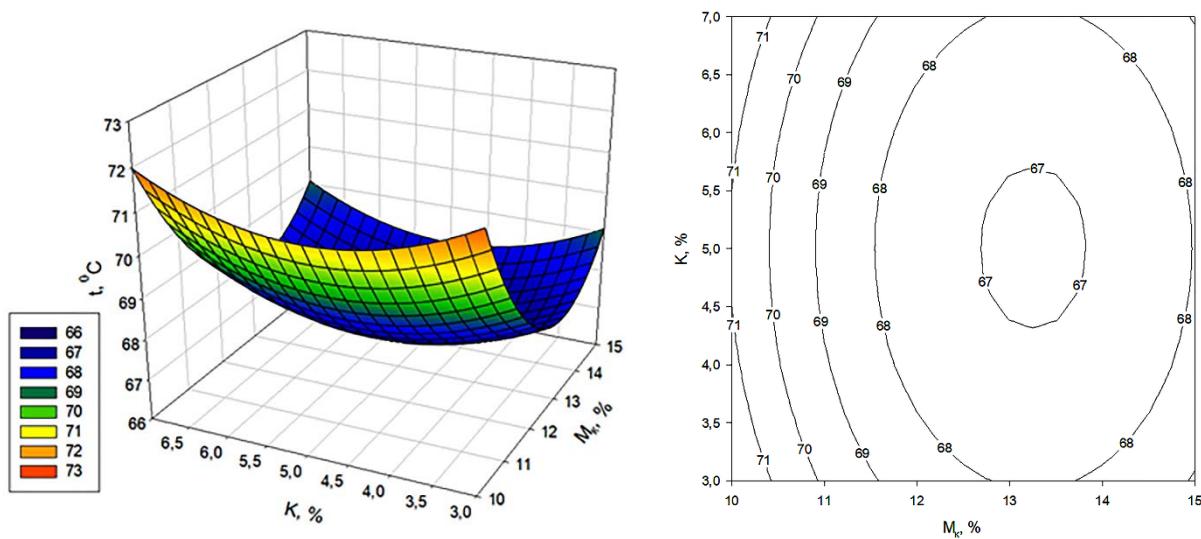


Рисунок 3 – Поверхность отклика  $Y = f(M_k; K; \tau = 5 \text{ мин.})$  и ее сечения

### Список источников

1. Скрипко О. В. Научные основы создания белково-витаминных концентратов на основе сои и их использование в технологии функциональных продуктов питания : монография. Благовещенск : Амурский государственный университет, 2020. 112 с.
2. Решетник Е. И., Уточкина Е. А. Практические аспекты проектирования функциональных продуктов питания : монография. Благовещенск : Дальневосточный государственный аграрный университет, 2012. 97 с.
3. Фролова Н. А., Шкрабтак Н. В., Гужель Ю. А., Праскова Ю. А. Функциональные продукты питания : монография. Благовещенск : Амурский государственный университет, 2021. 125 с.
4. Соя: химический состав и использование / под ред. В. М. Лукомца. Майкоп : Полиграф-ЮГ, 2012. 432 с.
5. Гапонова Л. В., Логвинова Т. Т., Першикова А. В., Решетник Е. И. Соя в лечебно-профилактическом и детском питании // Молочная промышленность. 1999. № 5. С. 25–27.
6. Скрипко О. В. Технологические подходы к приготовлению функциональных белково-витаминных продуктов на основе сои // Достижения науки и техники АПК. 2017. Т. 31. № 6. С. 84–92.
7. Николаева М. А., Бакайтис В. И., Рязанова О. А. Влияние химического состава на пищевую ценность свежих грибов // Индустрия питания. 2021. Т. 6.

---

№ 3. С. 84–92.

8. Жариков К. М., Нафиков А. В., Астафьев Б. В. Аскорбиновая кислота в профилактике профессиональных заболеваний // Бюллетень медицинских интернет-конференций. 2019. Т. 9. № 5. С. 200.
9. Максимов В. Н. Многофакторный эксперимент в биологии. М. : Издательство Московского университета, 1980. 280 с.
10. Лисин П. А., Воронова Т. Д., Молибога Е. А. Методология проектирования продуктов питания с заданными свойствами и составом : учебное пособие. Омск : Омский государственный аграрный университет, 2015. 142 с.
11. Патент № 2610181 Российской Федерации. Способ получения соево-грибных функциональных продуктов : № 2015133878 : заявл. 12.08.2015 : опубл. 08.02.2017 / Скрипко О. В., Литвиненко О. В., Корнева Н. Ю. Бюл. № 4. 8 с.

### References

1. Skripko O. V. *Scientific basis for the creation of soy-based protein-vitamin concentrates and their use in the technology of functional foods*, Blagoveshchensk, Amurskij gosudarstvennyj universitet, 2020, 112 p. (in Russ.).
2. Reshetnik E. I., Utochkina E. A. *Practical aspects of designing functional foods: monograph*, Blagoveshchensk, Dal'nevostochnyj gosudarstvennyj agrarnyj universitet, 2012, 97 p. (in Russ.).
3. Frolova N. A., Shkrabtak N. V., Guzhel' Yu. A., Praskova Yu. A. *Functional foods: monograph*, Blagoveshchensk, Amurskij gosudarstvennyj universitet, 2021, 125 p. (in Russ.).
4. Lukomets V. M. (Eds.). *Soybean: chemical composition and use*, Majkop, Poligraf-YUG, 2012, 432 p. (in Russ.).
5. Gaponova L. V., Logvinova T. T., Pershikova A. V., Reshetnik E. I. Soy in therapeutic and preventive and baby food. *Molochnaya promyshlennost'*, 1999;5: 25–27 (in Russ.).
6. Skripko O. V. Technological approaches to the preparation of soy-based functional protein-vitamin products. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2017;31;6:84–92 (in Russ.).
7. Nikolaeva M. A., Bakaytis V. I., Ryazanova O. A. The influence of chemical composition on the nutritional value of fresh mushrooms. *Industriya pitaniya*,

---

2021;6;3:84–92 (in Russ.).

8. Zharikov K. M., Nafikov A. V., Astafyev B. V. Ascorbic acid in the prevention of occupational diseases. *Byulleten' medicinskih internet-konferenciy*, 2019;9;5:200 (in Russ.).
9. Maksimov V. N. *Multifactorial experiment in biology*, Moscow, Izdatel'stvo Moskovskogo universiteta, 1980, 280 p. (in Russ.).
10. Lisin P. A., Voronova T. D., Moliboga E. A. *Methodology for designing food products with specified properties and composition: textbook*, Omsk, Omskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet, 2015, 142 p. (in Russ.).
11. Skripko O. V., Litvinenko O. V., Korneva N. Yu. Method for obtaining soybean-mushroom functional products. *Patent RF, No. 2610181* [patents.google.com](https://yandex.ru/patents/doc/RU2680698C1_20190225) 2017 Retrieved from [https://yandex.ru/patents/doc/RU2680698C1\\_20190225](https://yandex.ru/patents/doc/RU2680698C1_20190225) (Accessed 15 September 2023) (in Russ.).

© Корнева Н. Ю., Решетник Е. И., Литвиненко О. В., 2024

Статья поступила в редакцию 22.01.2024; одобрена после рецензирования 06.02.2024; принята к публикации 19.03.2024.

The article was submitted 22.01.2024; approved after reviewing 06.02.2024; accepted for publication 19.03.2024.