

# Проектирование и моделирование новых продуктов питания

УДК 303.723: 637.04

DOI: 10.14529/food200406

## МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА СВОЙСТВ КОМБИНИРОВАННЫХ ПИЩЕВЫХ СИСТЕМ

*С.П. Меренкова, А.Д. Ликсунова, А.В. Меренков, С.И. Якимов*

*Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия*

Актуальной задачей пищевой промышленности является проектирование технологий комбинированных пищевых систем, включающих сырье как животного, так и растительного происхождения, что обеспечивает высокую пищевую ценность, способствует созданию продуктов стабильного качества. Продукты переработки семян льна содержат эссенциальные компоненты, значимые в рационе питания человека. Цельнозерновая льняная мука содержит до 23 % растворимых пищевых волокон, обеспечивающих водопоглощающие, эмульгирующие, структурообразующие свойства. Введение в мясной фарш продуктов переработки семян льна обеспечивает увеличение концентрации функциональных компонентов, позволяет моделировать технологические свойства комбинированной мясной системы. В результате расчета пищевой ценности модельных образцов комбинированного продукта доказано возрастание содержания эссенциальных компонентов – белка, витаминов группы В, группы Е, пищевых волокон, минеральных веществ, обеспечивающих удовлетворение суточной потребности на 16,7–43,5 %. С целью оценки достоверности, взаимосвязи и прогнозирования динамики функционально-технологических свойств сложносоставных пищевых систем был проведен математический анализ экспериментальных данных, при этом рассчитывали коэффициент корреляции Пирсона, уравнение парной линейной регрессии и коэффициент аппроксимации. В результате решения алгоритмов установлена высокая степень положительной корреляции между концентрацией льняной муки в составе мясной системы и ее влагосвязывающими и влагоудерживающими свойствами. Доказана положительная зависимость влагосвязывающей способности фарша от уровня рН, а также выхода готовых изделий от влагосвязывающей способности мясной системы. Более того, уровень достоверности коэффициента корреляции для данных показателей установлен на уровне  $p < 0,01$  и  $p < 0,05$ . Расчет уравнения линейной регрессии позволил спрогнозировать динамику изменения функционально-технологических свойств мясо-растительного фарша.

**Ключевые слова:** комбинированная пищевая система, функциональный продукт, коэффициент корреляции Пирсона, уравнение линейной регрессии.

Актуальной задачей пищевой промышленности является расширение перечня функциональных продуктов питания, которые характеризуются высокой пищевой и биологической ценностью и включают необходимые компоненты в сбалансированных соотношениях. Современные подходы предусматривают применение растительных компонентов с доказанными физиологическими свойствами в технологии комбинированных продуктов, что позволяет модифицировать состав и моделировать технологические свойства пищевых продуктов.

Необходимость обеспечения рационального питания инициировали развитие научного направления, связанного с проектированием технологий комбинированных пищевых

систем, включающих сырье как животного, так и растительного происхождения. Комбинирование сырья из различных источников, обеспечивает высокую пищевую ценность перерабатываемых продуктов, повышает вариативность рецептур, способствует созданию продуктов стабильного качества.

Множеством исследований доказана эффективность добавления растительных ингредиентов в мясную систему с целью регулирования химического состава и технологических свойств [1, 2].

Льняное семя является важным источником эссенциальных компонентов, значимых в рационе питания человека. Продукты переработки семян содержат до 25 % полноценного

белка, в котором соотношение незаменимых аминокислот приближается к оптимальному, а аминокислотный скор и коэффициент утилизации белка превышает значения, характерные для белков бобовых культур [3]. Семена льна содержат полиненасыщенные жирные кислоты  $\omega$ -3 и  $\omega$ -6 в оптимальном соотношении, установлено значительное количество витаминов группы В, токоферолов, полифенольных соединений, обладающих антиоксидантными свойствами [4, 5]. Доказано, что в цельнозерновой льняной муке содержится до 23 % растворимых пищевых волокон, включающих некрахмальные полисахариды льняных слизей, – гемицеллюлозы, лигнаны, – данные компоненты в совокупности обеспечивают водопоглощающие, эмульгирующие, структурообразующие свойства [6–9].

Введение в мясной фарш продуктов переработки семян льна обеспечивает увеличение концентрации функциональных компонентов, а также позволяет моделировать технологические свойства комбинированной мясной системы.

С целью оценки достоверности, взаимосвязи, а также прогнозирования динамики изменения функционально-технологических свойств сложносоставных пищевых систем применяют математические методы прогноза и анализа полученных результатов, при этом рассчитывают коэффициент корреляции Пирсона, уравнение парной линейной регрессии и коэффициент аппроксимации [10, 11].

Критерий корреляции Пирсона – метод параметрической статистики, позволяющий определить выраженность корреляционной связи между двумя анализируемыми показателями. Расчет коэффициента корреляции Пирсона производится по формуле:

$$r_{xy} = \frac{\sum (d_x \cdot d_y)}{\sqrt{(\sum d_x^2 \cdot \sum d_y^2)}} \quad (1)$$

где  $d_x$  и  $d_y$  – величина отклонений значений от среднего арифметического значения сопоставляемых показателей.

Оценка статистической достоверности коэффициента корреляции  $r_{xy}$  осуществляется с помощью  $t$ -критерия, рассчитываемого по формуле:

$$t_r = \frac{r_{xy} \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r_{xy}^2}} \quad (2)$$

Анализ парной линейной регрессии количественных показателей является надежным методом оценки корреляции анализируемый

значений. Принцип метода заключается в построении прогностической модели зависимости показателя  $Y$  от показателя  $X$ .

Уравнение парной линейной регрессии представляют в виде формулы

$$Y = A \cdot X + B, \quad (3)$$

где  $Y$  – зависимый количественный показатель,  $X$  – независимый количественный показатель,  $A$  – коэффициент регрессии.

Значения линейной регрессии получают решением данной системы уравнений:

$$\begin{cases} a \cdot n + b \cdot \sum x = \sum y \\ a \cdot \sum x + b \cdot \sum x^2 = \sum x \cdot y \end{cases} \quad (4)$$

Целью регрессионного анализа является моделирование ожидаемого значения зависимой переменной  $Y$  в пределах значений независимой переменной  $X$ .

Коэффициент достоверности аппроксимации ( $R^2$ ) – это значение, которое характеризует точность приближения теоретическое распределения к экспериментально обоснованному распределению.

В эксперименте была обоснована возможность замены части мясного сырья в пищевой системе, содержащей 50 % говядины 1 категории и 50 % свинины мясной. В качестве растительного компонента выбрана мука льняная цельнозерновая, вносимая в концентрациях 0; 5; 10; 15; 20 и 25 %.

В результате моделирования состава комбинированного продукта были получены значения содержания макро- и микронутриентов в зависимости от концентрации вносимого растительного компонента (табл. 1, 2).

В результате расчета пищевой ценности модельных образцов мясного продукта доказано возрастание содержания эссенциальных компонентов – белка, витаминов группы В, группы Е, пищевых волокон, минеральных веществ. Потребление 100 г комбинированного продукта, содержащего 15–25 % льняной муки, позволяет удовлетворить суточную потребность в белке на – 23,2–24,9 %; в пищевых волокнах – на 16,7–27,9 %; в тиамине – на 33,4–43,5 %; в ниацине – на 17,8–18,1 %; в пиридоксине – на 18,8–19,7 %, в магнии – на 21,1–31,2 %; в цинке – на 24,2–25,8 [12].

С целью анализа технологических свойств пищевых систем определяли уровень рН; влагосвязывающую способность (ВСС, %), влагоудерживающую способность (ВУС, %), выход изделий после термической обработки (%). Результаты исследования отражены на рис. 1.

## Проектирование и моделирование новых продуктов питания

Был проведен математический анализ корреляции экспериментальных данных, характеризующих технологические свойства комбинированного фарша. В результате ре-

шения алгоритмов, установлена высокая взаимозависимость между следующими парами показателей (табл. 3, рис. 2).

Установлено, что значения  $r_{xy} > 0,7$  сви-

Таблица 1

Результаты анализа пищевой ценности комбинированных продуктов

Номер образца / М.д. льняной муки, %	Макронутриенты, г			ЭЦ, ккал	Минеральные вещества, мг		
	Белок	Жир	ПВ		Mg	Zn	Cu
Образец 1 / 0 %	16,4	24,6	0,0	287,5	23,0	2,6	0,1
Образец 2 / 5 %	17,2	23,6	1,1	269,7	43,4	2,8	0,2
Образец 3 / 10 %	17,8	23,4	2,2	258,8	63,8	2,8	0,2
Образец 4 / 15 %	18,6	22,3	3,4	241,1	84,2	2,9	0,3
Образец 5 / 20 %	19,2	22,1	4,5	230,2	104,6	3,0	0,4
Образец 6 / 25 %	19,9	21,1	5,6	212,5	125,0	3,1	0,4

Таблица 2

Результаты анализа витаминного состава комбинированных продуктов

Номер образца / М.д. льняной муки, %	Витамины, мг				Витамины, мкг	
	Е	В1	В3	В6	В9	В12
Образец 1 / 0 %	0,29	0,29	3,65	0,35	6,25	1,30
Образец 2 / 5 %	0,35	0,35	3,68	0,36	10,40	1,30
Образец 3 / 10 %	0,39	0,44	3,60	0,37	14,33	1,17
Образец 4 / 15 %	0,45	0,50	3,62	0,38	18,47	1,17
Образец 5 / 20 %	0,49	0,59	3,54	0,38	22,40	1,04
Образец 6 / 25 %	0,55	0,65	3,57	0,39	26,55	1,04

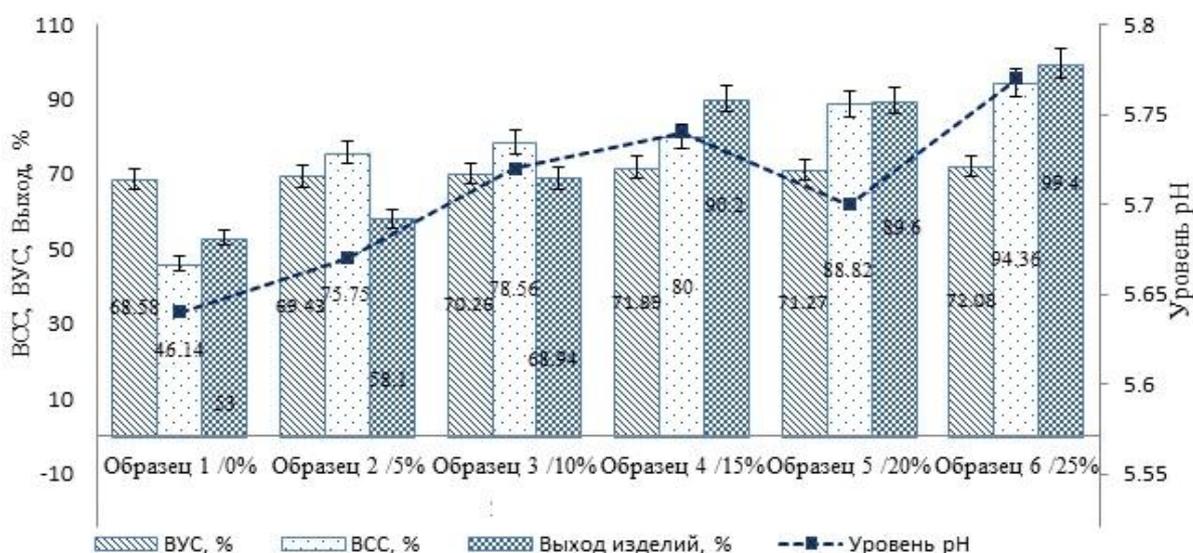
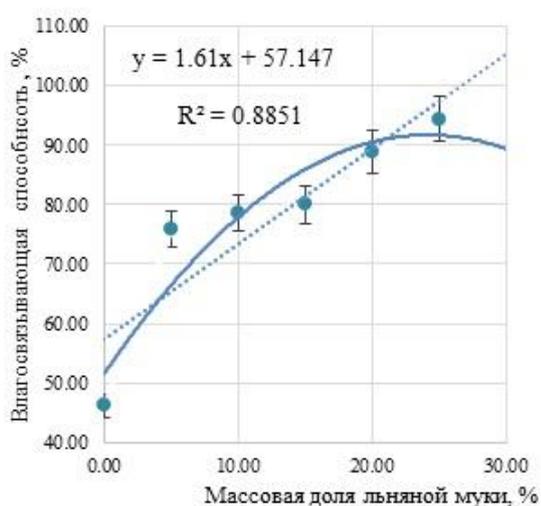


Рис. 1. Результаты исследования функционально-технологических свойств комбинированных пищевых систем

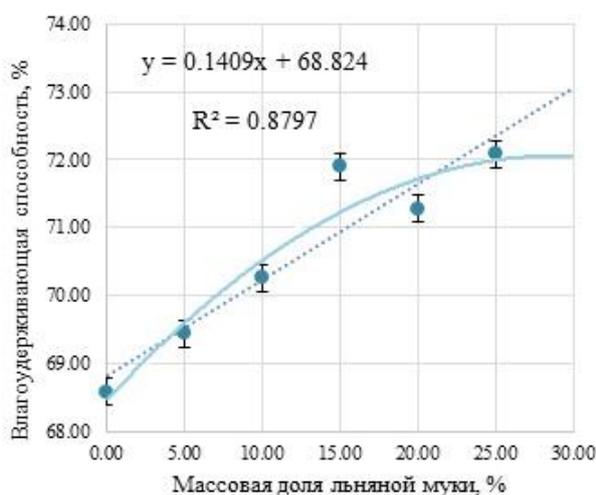
Таблица 3

Результаты расчета корреляции и линейной регрессии показателей технологических свойств  
комбинированного фарша

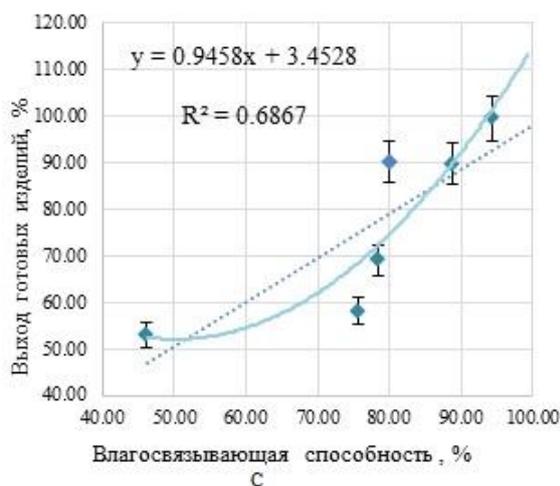
Взаимосвязь показателей	Коэфф-т корреляции Пирсона ( $r_{xy}$ )	t- критерий	Достоверность корреляции	Система уравнений парной линейной регрессии
М. д. льняной муки и ВСС, %	0,8982	4,0856	$p < 0,02$	$6a + 75b = 463,63$ $75a + 1375b = 6499,75$
М. д. льняной муки и ВУС, %	0,9379	5,4091	$p < 0,01$	$6a + 75b = 423,51$ $75a + 1375b = 5355,50$
ВСС, % и выход изделий, %	0,8288	2,9619	$p < 0,05$	$6a + 463,63b = 459,24$ $463,63a + 37231,44b = 36816,08$
Уровень pH и ВСС, %	0,8201	2,8664	$p < 0,05$	$6a + 34,24b = 463,63$ $34,24a + 195,41b = 2649,03$



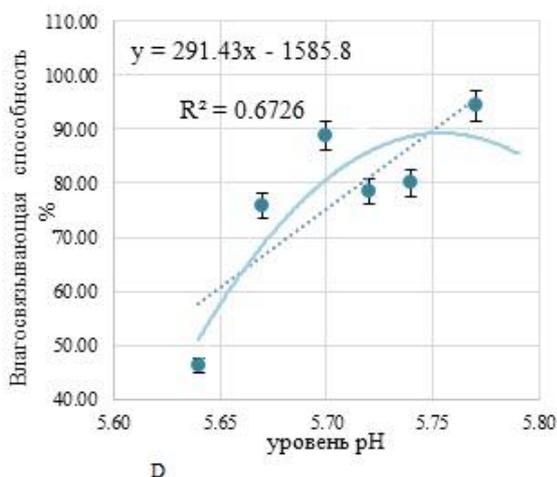
А



В



С



D

Рис. 2. Графики парной линейной и полиномиальной регрессии показателей образцов комбинированного фарша. Представлена корреляция показателей А – массовая доля льняной муки и ВСС, %; В – массовая доля льняной муки и ВУС, %; С – ВСС, % и выход готовых изделий, %; D – Уровень pH и ВСС, %

детельствуют о сильной взаимосвязи между анализируемыми величинами. Таким образом, установлена высокая степень положительной корреляции между концентрацией льняной муки в составе мясной системы и ее влагосвязывающими и влагоудерживающими свойствами. Доказана положительная зависимость влагосвязывающей способности фарша от уровня рН, а также выхода готовых изделий от ВСС мясной системы. Более того, уровень достоверности коэффициента корреляции для данных показателей установлен на уровне  $p < 0,01$  и  $p < 0,05$ .

Комбинирование в составе пищевой системы мясного сырья и продуктов переработки семян льна позволяет получить функциональные продукты питания, обеспечивающие удовлетворение суточной потребности в эссенциальных компонентах питания на 16,7–43,5 %.

Отмечена положительная корреляция улучшения технологических свойств пищевых систем при увеличении концентрации растительного компонента. Доказано возрастание влагосвязывающей и влагоудерживающей способности, выхода изделий после термической обработки, причем наблюдаемые изменения достоверно коррелировали с повышением содержания льняной муки и изменением уровня рН комбинированного фарша. Расчет уравнения линейной регрессии позволил спрогнозировать динамику изменения функционально-технологических свойств мясо-растительного фарша.

### Литература

1. Yeater, M. *Comparative evaluation of texture wheat ingredients and soy proteins in the quality and acceptability of emulsified chicken nuggets.* / M. Yeater, G. Casco, R.K. Miller, C.Z. Alvarado // *Poultry Science.* – 2017. – V. 96(12). – P. 4430–4438. DOI: 10.3382/ps/pex250.
2. *Technological development of protein-rich concentrates using soybean and meat by-products for nutrition in extreme conditions* / T.K. Kalenik, R. Costa, E.V. Motkina, T.A. Kosenko, O.V. Skripko, I.A. Kadnikova // *Acta Scientiarum Polonorum, Technologia Alimentaria.* – 2017. – V. 16 (3). – P. 255–268. DOI: 10.17306/J.AFS.2017.0501
3. *Comparison of the functional properties of pea, chickpea and lentil protein concentrates processed using ultrafiltration and isoelectric precipitation techniques* / J.I. Boye, S. Aksay, S. Roufik, S. Ribéreau, M. Mondor, E. Farnworth, S.H. Rajamohamed // *Food Research International.* – 2010. – V. 43(2). – P. 537–546. DOI: 10.1016/j.foodres.2009.07.021
4. *Amino acids and fatty acids profile of chia (Salvia Hispanica l.) and flax (Linum Usitatissimum l.) seed.* / S. Nitrayová, M. Brestenský, J. Heger, P. Patrás, J. Rafay, A. Sirotkin // *Potravinárstvo.* – 2014. – V. 8(1). – P. 72–76. DOI: 10.5219/332
5. *Oomah, B.D. Flaxseed proteins – a review* / B.D. Oomah, G. Mazza. // *Food Chemistry.* – 1993. – V. 48(2). – P. 109–114. DOI: 10.1016/0308-8146(93)90043.
6. *Меренкова, С.П. Разработка технологии колбасного хлеба функциональной направленности на основе продуктов переработки семян льна масличного* / С.П. Меренкова, И.Ю. Потороко, В.В. Семиздралова. // *Вестник ВГУИТ.* – 2018. – Т. 80, № 4 (78). – С. 177–184. DOI: 10.20914/2310-1202-2018-4-177-184
7. *Миневиц, И.Э. Сортовые и технологические особенности получения полисахаридных продуктов из семян льна (Linum usitatissimum l.)* / И.Э. Миневиц, И.В. Ущановский, Л.Л. Осипова, Д.В. Абрамов // *Научн. журн. НИУ ИТМО. Сер.: Процессы и аппараты пищевых производств.* – 2020. – № 2 (44). – С. 3–10.
8. *Comparative moisture and heat sorption properties of fibre and shiv derived from hemp and flax* / Y. Jiang, M. Lawrence, A. Hussain, M. Ansell, P. Walker // *Cellulose.* – 2019. – V. 26. – P. 823–843. DOI: 10.1007/s10570-018-2145-0.
9. *Singer, F.A.W. Preparation of mucilage/protein products from flaxseed* / F.A.W. Singer, F.S. Taha, S.S. Mohamed, A. Gibriel, M. El-Nawawy // *American Journal of Food Technology.* – 2011. – Iss. 6. – P. 260–278. DOI: 10.3923/ajft.2011.260.278.
10. *Balejko, J.A. Artificial neural network as the tool in prediction rheological features of raw minced meat* / J.A. Balejko, Z. Nowak, E. Balejko // *Acta Scientiarum Polonorum, Technologia Alimentaria.* – 2012. – V. 11(3). – P. 273–281.
11. *Edelmann, D. On relationships between the Pearson and the distance correlation coefficients* / D. Edelmann, T.F. Móri, G.J. Székely // *Statistics and Probability Letters.* – 2021. – V. 169. DOI: 10.1016/J.SPL. 2020.108960
12. *MP 2.3.1.2432–08. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации.*

**Меренкова Светлана Павловна**, кандидат ветеринарных наук, доцент кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), merenkovasp@susu.ru

**Ликсунова Анастасия Дмитриевна**, студент кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), ad.liksunova@gmail.com

**Меренков Александр Валерьевич**, студент кафедры «Системное программирование», Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), merenkov01@mail.ru

**Якимов Станислав Игоревич**, аспирант кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), 9087033330@mail.ru

Поступила в редакцию 12 мая 2020 г.

DOI: 10.14529/food200406

## MATHEMATICAL METHODS FOR ANALYZING THE COMBINED FOOD SYSTEMS CHARACTERISTICS

**S.P. Merenkova, A.D. Liksunova, A.V. Merenkov, S.I. Yakimov**

*South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation*

An urgent problem of the food industry is the development of the technologies for combined food systems including raw materials of both animal and vegetable origin, providing high nutritional value and contributes to the creation of stable quality products. Flaxseed products contain essential components that are important in the human diet. Whole grain flaxseed flour contains up to 23 % soluble dietary fiber, providing water-absorbing, emulsifying, structure-forming properties. The addition of flax seed processing products into minced meat provides an increase in the concentration of functional components, allows modeling the technological properties of the combined meat system. As a result of estimation the nutritional value of the model samples an increase in the content of essential components - protein, vitamins B, E, dietary fiber, minerals, ensuring the satisfaction of the daily requirement by 16.7–43.5 % was proved. In order to assess the reliability, relationship and predict the dynamics of the functional and technological properties of complex food systems, a mathematical analysis of the experimental data was carried out, while calculating the Pearson's correlation coefficient, the equation of paired linear regression and the approximation coefficient. As a result of solving the algorithms, a high degree of positive correlation was established between the concentration of flax flour in the meat system and its water-binding and water-holding properties. The positive dependence of the water-binding capacity of minced meat on the pH level, as well as the products yield on the water-binding capacity of the meat system has been proven. Moreover, the reliability level of the correlation coefficient for these indicators was set at  $p < 0.01$  and  $p < 0.05$ . The calculation of the linear regression equation made it possible to predict the dynamics of changes in the functional and technological properties of minced meat.

**Keywords:** combined food system, functional product, Pearson correlation coefficient, linear regression equation.

### References

1. Yeater M., Casco G., Miller R.K., Alvarado C.Z. Comparative evaluation of texture wheat ingredients and soy proteins in the quality and acceptability of emulsified chicken nuggets. *Poultry Science*, 2017, vol. 96(12), pp. 4430–4438. DOI: 10.3382/ps/pep250.
2. Kalenik T.K., Costa R., Motkina E.V., Kosenko T.A., Skripko O.V., Kadnikova I.A. Technological development of protein-rich concentrates using soybean and meat by-products for nutrition in extreme conditions. *Acta Scientiarum Polonorum, Technologia Alimentaria*, 2017, vol. 16 (3), pp. 255–268. DOI: 10.17306/J.AFS.2017.0501

3. Boye J.I., Aksay S., Roufik S., Ribéreau S., Mondor M., Farnworth E., Rajamohamed S.H. Comparison of the functional properties of pea, chickpea and lentil protein concentrates processed using ultrafiltration and isoelectric precipitation techniques. *Food Research International*, 2010, vol. 43(2), pp. 537–546. DOI: 10.1016/j.foodres.2009.07.021
4. Nitrayová S., Brestenský M., Heger J., Patráš P., Rafay J., Sirotkin A. Amino acids and fatty acids profile of chia (*Salvia Hispanica* L.) and flax (*Linum Usitatissimum* L.) seed. *Potravinárstvo*, 2014, vol. 8(1), pp. 72–76. DOI: 10.5219/332
5. Oomah B.D., Mazza G. Flaxseed proteins – a review. *Food Chemistry*, 1993, vol. 48(2), pp. 109–114. DOI: 10.1016/0308-8146(93)90043.
6. Merenkova S.P., Potoroko I.Yu., Semizdralova V.V. [Development of sausage bread technology with a functional orientation based on flax seed products]. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET], 2018, vol. 80, no. 4, pp. 177–184. (in Russ.). DOI: 10.20914/2310-1202-2018-4-177-184
7. Minevich I.E., Uschapovsky I.V., Osipova L.L., Abramov D.V. [Some aspects of producing polysaccharide products from flax seeds]. *Scientific journal of NRU ITMO. Series: Processes and apparatus for food production*, 2020, vol. 2 (44), pp. 3–10. (in Russ.)
8. Jiang Y., Lawrence M., Hussain A., Ansell M., Walker P. Comparative moisture and heat sorption properties of fibre and shiv derived from hemp and flax. *Cellulose*, 2019, vol. 26, pp. 823–843. DOI: 10.1007/s10570-018-2145-0.
9. Singer F.A.W., Taha F.S., Mohamed S.S., Gibriel A., El-Nawawy M. Preparation of mucilage/protein products from flaxseed. *American Journal of Food Technology*, 2011, iss. 6, pp. 260–278. DOI: 10.3923/ajft.2011.260.278.
10. Balejko J.A., Nowak Z., Balejko E. Artificial neural network as the tool in prediction rheological features of raw minced meat. *Acta Scientiarum Polonorum, Technologia Alimentaria*, 2012, vol. 11(3), pp. 273–281.
11. Edelman D., Móri T.F., Székely G.J. On relationships between the Pearson and the distance correlation coefficients. *Statistics and Probability Letters*, 2021, vol. 169. DOI: 10.1016/J.SPL.2020.108960
12. *MR 2.3.1.2432–08. Normy fiziologicheskikh potrebnostey v energii i pishchevykh veshchestvakh dlya razlichnykh grupp naseleniya Rossiyskoy Federatsii* [MR 2.3.1.2432-08. Norms of physiological needs for energy and nutrients for various groups of the population of the Russian Federation].

**Svetlana P. Merenkova**, Candidate of Sciences (Veterinary), Associate Professor of the Department of Food and Biotechnology, South Ural State University, Chelyabinsk, merenkovasp@susu.ru

**Anastasia D. Liksunova**, student at the Department Food and Biotechnologies, South Ural State University, Chelyabinsk, ad.liksunova@gmail.com

**Alexander V. Merenkov**, student at the Department System programming, South Ural State University, Chelyabinsk, merenkov01@mail.ru

**Stanislav I. Yakimov**, post-graduate student of Department of Food and Biotechnology, South Ural State University, Chelyabinsk, 9087033330@mail.ru

*Received May 12, 2020*

---

### ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Математические методы анализа свойств комбинированных пищевых систем / С.П. Меренкова, А.Д. Ликсунова, А.В. Меренков, С.И. Якимов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». – 2020. – Т. 8, № 4. – С. 46–52. DOI: 10.14529/food200406

### FOR CITATION

Merenkova S.P., Liksunova A.D., Merenkov A.V., Yakimov S.I. Mathematical Methods for Analyzing the Combined Food Systems Characteristics. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2020, vol. 8, no. 4, pp. 46–52. (in Russ.) DOI: 10.14529/food200406