


## Адаптивное моделирование экспериментальных условий при обработке пищевых продуктов (рыбы охлажденной) потоком ускоренных электронов

Роза Т. Тимакова<sup>1</sup> [trt64@mail.ru](mailto:trt64@mail.ru)  0000-0002-4777-1465

<sup>1</sup> Уральский государственный экономический университет, ул. 8 Марта/Народной воли, 62/45, г. Екатеринбург, 620144, Россия

**Аннотация.** Применение математического моделирования в разных отраслях пищевой промышленности, как действенный инструмент политики ресурсосбережения пищевых систем, является инновационным решением в области повышения эффективности существующих технологий производства пищевой продукции на основе установленных закономерностей в процессе производства. Вопросы контроля операционного качества при осуществлении обработки пищевых продуктов потоком ускоренных электронов при отсутствии регламентированных стандартами доз излучения, кроме некоторых видов пряностей, для обеспечения безопасности и качества пищевой продукции, в частности рыбы охлажденной, требуют конструктивного подхода при общей прогнозируемости технологических параметров в специализированных радиационных центрах – операторах облучателя. Установлено, что поглощенная образцами чешуи карпа обыкновенного доза с высокой степенью корреляции 0,94 зависит от собственно дозы излучения и увеличивается до  $7,51 \pm 0,04$  кГр при облучении дозой 12 кГр или в 25,9 раза по сравнению с образцами, обработанными потоком ускоренных электронов дозой излучения 1 кГр. Выявлено, что операционное качество определяется воспроизводимостью результатов в установленных условиях производственного процесса обработки. В результате опытных апробаций разработаны математические модели разного типа для прогнозирования поглощенной дозы от экспериментальных условий на примере образцов чешуи карпа охлажденного: полиномиальная, 3D-график и arccos. Практическая значимость определяется возможностью проектирования экспериментальных условий при обработке охлажденной рыбы потоком ускоренных электронов без осуществления пробной обработки небольших партий пищевой продукции в радиационных центрах и использованием в качестве макета при технологических прогонах излучателей.

**Ключевые слова:** математическое моделирование, arccos, карп охлажденный, доза излучения, поглощенная доза, технологические параметры, чешуя

## Adaptive modeling of experimental conditions in the processing of food products (chilled fish) by the flow of accelerated electrons

Roza T. Timakova<sup>1</sup> [trt64@mail.ru](mailto:trt64@mail.ru)  0000-0002-4777-1465

<sup>1</sup> Ural State Economic University, St. 8-e Marta/Narodnoy vol, 62/45, Ekaterinburg, 620144, Russia

**Abstract.** The use of mathematical modeling in various branches of the food industry as an effective tool for the policy of resource conservation of food systems is an innovative solution in the field of improving the efficiency of existing food production technologies based on established patterns in the production process. The issues of operational quality control in the process of processing food products with a stream of accelerated electrons in the absence of radiation doses regulated by standards, except for certain types of spices, to ensure the safety and quality of food products, in particular chilled fish, require a constructive approach with the general predictability of technological parameters in specialized radiation centers – operators of the irradiator. It was found that the dose absorbed by the samples of common carp scales with a high degree of correlation of 0.94 depends on the actual radiation dose and increases to  $7.51 \pm 0.04$  kGy when irradiated with a dose of 12 kGy or 25.9 times compared to samples treated with a stream of accelerated electrons with a radiation dose of 1 kGy. It is revealed that the operational quality is determined by the reproducibility of the results under the established conditions of the production processing process. As a result of experimental testing, mathematical models of various types were developed to predict the absorbed dose from experimental conditions on the example of samples of chilled carp scales: polynomial, 3D-graph and arccos. The practical significance is determined by the possibility of designing experimental conditions for processing chilled fish with a stream of accelerated electrons without performing trial processing of small batches of food products in radiation centers and using emitters as a model for technological runs.

**Keywords:** mathematical modeling, arccos, cooled carp, radiation dose, absorbed dose, technological parameters, scales

### Введение

Технология обработки пищевой продукции потоком ускоренных электронов определяется требованиями стандартов ГОСТ ISO 14470–2014 «Радиационная обработка пищевых продуктов. Требования к разработке, валидации и повседневному контролю процесса облучения пищевых продуктов ионизирующим излучением» и ГОСТ 34157–2017 «Руководство по дозиметрии при обработке пищевых продуктов электронными

пучками и рентгеновским (тормозным) излучением», исходя из целей проведения обработки: уменьшение микробиологической обсемененности, уничтожение вредителей и патогенной микрофлоры, продление срока хранения и др.

Пищевая продукция относится к биологическим объектам живой природы, соответственно для сохранения качественных характеристик и обеспечения безопасности согласно требованиям технических регламентов параметры обработки ионизирующим излучением применяются, исходя

### Для цитирования

Тимакова Р.Т. Адаптивное моделирование экспериментальных условий при обработке пищевых продуктов (рыбы охлажденной) потоком ускоренных электронов // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1. С. 17–22. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-17-22

### For citation

Timakova R.T. Adaptive modeling of experimental conditions in the processing of food products (chilled fish) by the flow of accelerated electrons. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 1. pp. 17–22. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-1-17-22

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

из вида пищевой продукции для установления минимальной и максимальной дозы излучения, чтобы, с одной стороны, обеспечить достижение установленных целей, с другой – не допустить ухудшения качества.

Исследования зарубежных и отечественных ученых направлены на установление оптимальных доз ионизирующего излучения для разных видов пищевой продукции. Так, например, только промысловых рыб известно более 700 видов, отличающихся размерно-массовыми характеристиками, технотехническими свойствами, морфометрическими и морфологическими характеристиками. При этом отмечается вариабельность диапазона доз в разных литературных источниках, что может быть обусловлено рядом причин: разные виды облучателей и технические параметры их работы, неоднородность пищевых продуктов в разных партиях товаров (термическое состояние продукта и его размер, органолептические показатели и др.) [1].

В разных странах определены различные оптимальные дозы излучения, используемые для обработки охлажденной рыбы. В настоящее время многочисленными исследованиями установлено, в результате облучения дозами от 1 кГр до 3 кГр увеличиваются сроки годности охлажденной рыбы: карпа охлажденного – до 30 суток при температуре хранения  $0 + 4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; морского окуня – до 25–28 суток при температуре  $+ 0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; сардины в вакуумной упаковке – до 24 суток при температуре  $+ 4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; сельди – до 10–14 суток при температуре  $+ 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; скумбрии – до 30–35 суток при температуре  $+ 0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Для сига оптимальной дозой излучения является доза 0,83–1,22 кГр, что при температуре  $+ 3\text{ }^{\circ}\text{C}$  обеспечивает срок годности 17–21 день. Увеличение дозы излучения до 2,5–5,0 кГр приводит к сокращению сроков годности морского окуня до 15–17 суток [2–5]. Облучение дозами свыше 4,5 кГр может приводить к окислительной порче рыбы, что подтверждается результатами исследований [2, 3, 6]. При увеличении дозы до 9 кГр происходит повреждение ДНК [7].

В настоящее время ввиду отсутствия регламентированных стандартами доз излучения в специализированных радиационных центрах – операторах облучателя предлагается осуществление пробной обработки минимальной партии пищевой продукции, исходя из достижения установленных целей.

Основополагающим вопросом в методологии построения СМК в радиационных центрах согласно требований ГОСТ Р ИСО 9001–2015 «Системы менеджмента качества. Требования» является структура документации системы,

включающая документированные процедуры для обеспечения качества и безопасности пищевых продуктов и для минимизации отклонений от запланированных результатов [8].

Одним из важнейших решений для подбора технологических параметров без многочисленных экспериментальных апробаций при осуществлении обработки пищевой продукции потоком ускоренных электронов для достижения установленных целей является математическое моделирование, которое, по мнению [9,10] позволяет изучить реальный процесс и / или, продукт с помощью современных информационных технологий в результате создания физической, символической или абстрактной модели ситуации. При этом математическая модель, как некоторый набор формальных соотношений между показателями объекта исследования, разделяемыми на параметры и переменные, должна обеспечить адекватное описание процессов функционирования объекта и получить оптимальный вариант искомого решения [11, 12].

Математическое моделирование позволяет исследовать оптимальным образом и описывать разные технологические процессы с использованием инновационных приемов обработки сырьевых компонентов пищевой продукции, которые способствуют установлению требуемого значения уровня качества исследуемых видов продукции, а также осуществлять прогнозирование любых процессов, например теплообменных, и оптимальных условий ведения этих процессов, результат которых выражается в математической и графической формах, и обосновывать оптимальные условия ведения этих процессов [13–18].

Вопросы унификации и нивелирования отдельных стандартизированных процессов для обеспечения операционного качества при осуществлении процедуры облучения имеют важное значение для обеспечения безопасности и качества пищевой продукции, в частности рыбы охлажденной, обработанной потоком ускоренных электронов.

**Цель работы** – разработка математических моделей зависимости поглощенной дозы обработанного разными дозами ионизирующего излучения карпа обыкновенного охлажденного от экспериментальных условий.

### Материалы и методы

Обработка карпа обыкновенного охлажденного прудового хозяйства осуществлялась дозами до 12 кГр линейным ускорителем электронов модели УЭЛР-10–10С2 с энергией до 10 МэВ в ЦРС УрФУ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина в соответствии с требованиями ГОСТ 34154–2017 «Руководство по облучению рыбы и морепродуктов с целью подавления патогенных и вызывающих порчу микроорганизмов» и последующей оценкой операционного

качества (ОQ) для определения базовых данных при проведении оценки прогнозируемости работы линейного ускорителя и воспроизводимости результатов в планируемом диапазоне условий работы с точки зрения ключевых рабочих параметров, оказывающих влияние на поглощенную в продукте дозу. Характеристика электронного пучка и его рассеивания и способ транспортирования пищевых продуктов, характеризующие облучательное оборудование и не зависящие от вида пищевой продукции, относятся к рабочими параметрами согласно п. 8.3 ГОСТ Р ИСО/АСТМ 51431–2012 «Руководство по дозиметрии при обработке пищевых продуктов электронными пучками и рентгеновским (тормозным) излучением». Основными характеристиками пучка электронов и его рассеивания, относящиеся к технологическим параметрам самой установки, являются:

- максимальная энергия ускоренных электронов – 10 МэВ;
- максимальный размер поля облучения на расстоянии 10,0 см от выпускной фольги – 60,0 x 2,0 см;
- равномерность поля облучения –  $\pm 5\%$ ;
- частота сканирования электронного пучка – 1–3 Гц.

Транспортировка карпа охлажденного, размещенного в один слой в технологической загрузке, осуществлялась на конвейере со скоростью движения ( $5 \pm 0,1$ ) м/мин, геометрия облучения – двухсторонняя при однократном прохождении (рисунок 1).

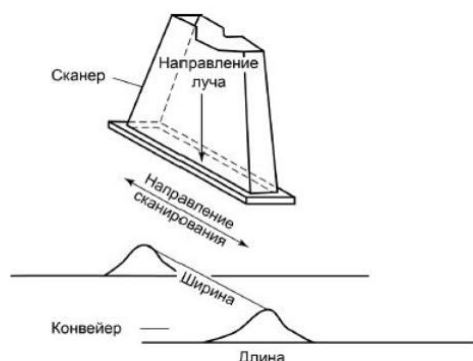


Рисунок 1. Зона облучения технологической загрузки сканирующим пучком по ГОСТ 34154–2017

Figure 1. Irradiation zone of technological loading by scanning beam according to GOST 34154–2017

До и после процедуры облучения осуществлялся температурный контроль карпа –  $0 \pm 2$  °C. Плотность рыбы составляла  $0,987 \pm 0,004$  кг/м<sup>3</sup>.

ЭПР-спектроскопия осуществлялась по образцам циклоидной чешуи карпа, представленной костными образованиями в виде крупных «лепестков» и являющейся защитным барьером, в том числе от проникновения ионизирующего излучения, при этом аккумулирующей и поглощающей излучение, в соответствии с требованиями ГОСТ Р 52529–2016 «Мясо и мясные продукты. Метод электронного парамагнитного резонанса для выявления радиационно-обработанных мяса и мясопродуктов, содержащих костную ткань», согласно адаптированной автором методики пробоподготовки для последующей качественной и количественной идентификации

методом электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) согласно расчетной формулы определения поглощенных доз [5].

Исследования проводились в 10-кратной повторности. Полученные экспериментальные результаты обработаны с использованием стандартных статистических методов анализа с использованием пакета прикладных программ Microsoft Office Excel и Stat Soft Statistica.

## Результаты и обсуждение

Проектирование ресурсосберегающих дифференцированных технологий, к которым можно отнести радиационные технологии, возможно при целенаправленном использовании математических моделей на основе первичных опытных данных. В результате проведенных экспериментальных исследований установлено, что после обработки карпа охлажденного разными дозами ионизирующего излучения наблюдается изменение основных параметров ЭПР-сигнала: амплитуды, ширины и площади в образцах чешуи карпа. С увеличением дозы излучения происходит усиление цепной реакции возбуждения свободных радикалов и интенсивности регистрируемого ЭПР-сигнала, при этом выявлено увеличение величины поглощенной дозы в образцах чешуи в 25,9 раза: с  $0,29 \pm 0,01$  кГр при облучении дозой 1,0 кГр до  $7,51 \pm 0,04$  кГр при облучении дозой 12 кГр с высокой степенью корреляции 0,94 (рисунок 2)

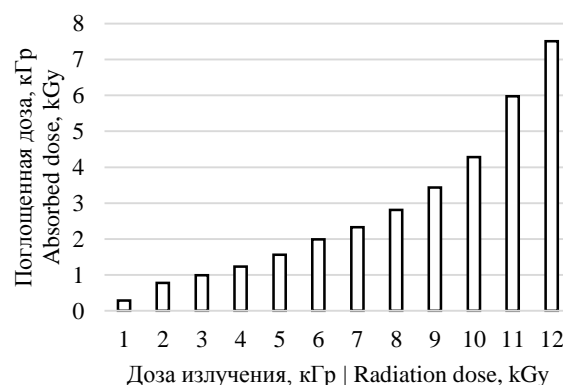


Рисунок 2. Динамика изменения поглощенной дозы в образцах чешуи карпа обыкновенного, обработанного разными дозами излучения, кГр

Figure 2. Dynamics of changes in the absorbed dose in samples of common carp scales treated with different radiation doses, kGy

Математическая модель зависимости поглощенной дозы от дозы излучения в образцах чешуи карпа обыкновенного после обработки разными дозами ионизирующего излучения представлена в виде аппроксимирующего полинома третьего порядка с высоким коэффициентом аппроксимации  $R^2 = 0,997$ :

$$Y = 0,9 \times 10^{-2} X^3 - 1,2 \times 10^{-1} X^2 + 0,7625 X - 0,383 \quad (1)$$

Для обоснования зависимости поглощенной дозы от дозы излучения и площади ЭПР-сигнала, как обобщающего параметра ЭПР-сигнала, использован метод матричного структурирования с построением исходной матрицы и представленной математической моделью в виде трехмерного графика поверхности (рисунок 3).

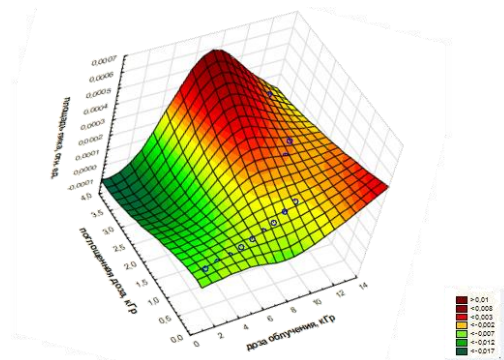


Рисунок 3. Поверхность отклика  
Figure 3. Surface plot

Проведенные исследования позволили установить регрессионную зависимость изменения поглощенной дозы ( $Z$ ) от дозы облучения ( $X$ ) и площади ЭПР-сигнала ( $Y$ ) для образцов чешуи рыбы, представленную уравнением ( $R^2 = 0,87$ ):

$$Z = 8,386 - 0,2246X + 11522,34Y + 8301,42XY \quad (2)$$

Используя разработанные модели зависимости поглощенной дозы (полиномиальная модель, модель: 3D-график) от отдельных параметров и численные массивы поглощенной дозы в разных точках технологической загрузки, построена математическая модель нелинейного типа следующего вида (коэффициент корреляции 0,901):

$$\arccos = 0,2481 + 0,00411 \cdot \sqrt{\delta x^2 + \delta y^2}, \quad (3)$$

где  $\delta x$  и  $\delta y$  – изменение размерных характеристик объекта исследования.

Выбор нелинейной функции ( $\arccos$ ) для моделирования зависимой переменной (доза) был

выполнен на основе анализа реальных значений исследуемого показателя в сопоставлении с картиной поведения массива нелинейных функций. Построенная модель является качественной и может быть использована для прогнозирования поглощенной дозы.

### Заключение

Применение в радиационных центрах пробной обработки потоком ускоренных электронов минимальной партии пищевых продуктов является частным случаем для установления рациональных доз ионизирующего излучения, что не всегда целесообразно с точки зрения формирования логистических потоков и ограниченности сроков хранения переработанного пищевого сырья ввиду удаленности производственных объектов от радиационных центров. При соблюдении установленных и закреплённых в Технических соглашениях технологических параметров: параметров излучателя и параметров процесса облучения, а также при предоставлении характеристик каждого конкретного вида продуктов, его размеров, плотности, насыпной плотности в технологической загрузке, термического состояния и целей обработки целесообразно осуществление математического моделирования, исходя из относительно неизменных экспериментальных условий. Разработанные в результате апробаций прогностические математические модели разного типа могут быть применены в практических целях для расчета рациональных поглощенных доз ионизирующего излучения и обеспечения безопасности и качества обработанного потоком ускоренных электронов карпа охлажденного, а также для моделирования продукта (макета, имитатора) в качестве замены реального продукта, используемого в технологических прогонах при изучении характеристик излучателя.

### Литература

- 1 Тимакова Р.Т. SOPs: формализованный подход к применению радиационных технологий // Пища. Экология. Качество: тр. XVII Междунар. науч.-практ. конф. Екатеринбург: Изд-во УрГЭУ, 2020. С. 638–641.
- 2 Arvanitoyannis I.S., Stratakis A., Mente E. Impact of irradiation on fish and sea food shelf life: A comprehensive review of applications and irradiation detection // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2009. V. 49(1). P. 68–112.
- 3 Erkan N., Günlü A., Genç I. Alternative seafood preservation technologies: ionizing radiation and high pressure processing // Journal of Fisheries Sciences. com. 2014. V. 8(3). P. 238–251.
- 4 Özden Ö.M., Erkan N. Effect of different dose gamma radiation and refrigeration on the chemical and sensory properties and microbiological status of aqua cultured sea bass (*Dicentrarchus labrax*) // Radiation Physics and Chemistry. 2007. V. 76. P. 1169–1178.
- 5 Timakova R.T., Tikhonov S.L., Tikhonova N.V. Ionizing radiation treatment as an innovative process approach in food storage technology for modern agriculture // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science conference proceedings. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Krasnoyarsk, Russia. 2020. С. 22015.
- 6 Genç İ.Y., Diler A. Elimination of foodborne pathogens in seafoods by irradiation: Effects on quality and shelf-life // Journal of Food Science and Engineering. 2013. V 3. P. 99–106.
- 7 Sakalar E., Mol S. Determination of irradiation dose and distinguishing between irradiated and non irradiated fish meat by real-time PCR // Food chemistry. 2015. V. 182. P. 150–155.

- 8 Тихонов Б.Б., Тихонова Н.А. Особенности документирования систем менеджмента качества в пищевой промышленности // В сб. научных трудов II Международной научной конференции: Современное состояние экономических систем: экономика и управление. 2020. С. 332–336.
- 9 Сундукова Т.О., Ваныкина Г.В. Математическое моделирование и моделирование компетенций // Парадигмы современной науки. 2017. № 2(4). С. 12–21.
- 10 Sriraman B. Conceptualizing the model-eliciting perspective of mathematical problem solving // Proceedings of the Fourth Congress of the European Society for research in Mathematics Education (CERME 4). 2006. P. 1686–1695.
- 11 Суходолов А.П., Марченко В.А. Системный анализ, моделирование, математическое моделирование. Иркутск: Байкальский государственный университет, 2018. 144 с.
- 12 Тарасик В.П. Физические основы структурно-матричного метода математического моделирования технических систем // Вестник Белорусско-Российского университета. 2016. № 1(50). С. 87–99
- 13 Кокарев М.А., Бутерус Н.С. Моделирование процессов тепломассообмена и их математическое описание // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2018. № 6(42). С. 179–181.
- 14 Кретова Ю.И., Цирульниченко Л.А. Математическое моделирование как эффективный инструмент прогнозирования и управления производственными процессами // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. 2018. Т. 6. № 1. С. 5–13.
- 15 Остриков А.Н., Богомолов И.С., Филиппов П.В. Математическое моделирование процесса диффузии жидких добавок внутрь экструдированных гранул комбикорма для рыб ценных пород // Вестник ВГУИТ. 2020. № 82(3). С. 19–23. doi: 10.20914/2310-1202-2020-3-19-23
- 16 Dehdari L., Amani M.J., Parsaei R. Prediction of water solubility in ill-defined hydrocarbons at high temperatures: Modeling with the CPA-EoS // Fluid Phase Equilibria. 2017. V. 454. P. 11–21. doi:10.1016/j.fluid.2017.09.009
- 17 Lambert C., Lalan B., Decloux M. Simulation of a sugar beet factory using a chemical engineering software (ProSimPlus®) to perform Pinch and exergy analysis // Journal of Food Engineering. 2018. V. 225. P. 1–11. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2018.01.004
- 18 Onwude D.I., Hashim N., Abdan K. Modelling of coupled heat and mass transfer for combined infrared and hotairdrying of sweet potato // Journal of Food Engineering. 2018. V. 228. P. 12–24. doi:10.1016/j.jfoodeng.2018.02.006

## References

- 1 Timakova R.T. SOPs: a formalized approach to the application of radiation technologies. Food. Ecology. Quality: proceedings of the XVII International Scientific and Practical Conference. Ekaterinburg: Publisher of USUE, 2020. pp. 638–641. (in Russian).
- 2 Arvanitoyannis I.S., Stratakis A., Mente E. Impact of irradiation on fish and sea food shelf life: A comprehensive review of applications and irradiation detection. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2009. vol. 49(1). pp. 68–112.
- 3 Erkan N., Günlü A., Genc I. Alternative seafood preservation technologies: ionizing radiation and high pressure processing. Journal of Fisheries Sciences. com. 2014. vol. 8(3). pp. 238–251.
- 4 Özden Ö.M., Erkan N. Effect of different dose gamma radiation and refrigeration on the chemical and sensory properties and microbiological status of aqua cultured sea bass (*Dicentrarchus labrax*). Radiation Physics and Chemistry. 2007. vol. 76. pp. 1169–1178.
- 5 Timakova R.T., Tikhonov S.L., Tikhonova N.V. Ionizing radiation treatment as an innovative process approach in food storage technology for modern agriculture. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science conference proceedings. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Krasnoyarsk, Russia. 2020. C. 22015.
- 6 Genc İ.Y., Diler A. Elimination of foodborne pathogens in seafoods by irradiation: Effects on quality and shelf-life. Journal of Food Science and Engineering. 2013. vol. 3. pp. 99–106.
- 7 Sakalar E., Mol S. Determination of irradiation dose and distinguishing between irradiated and non irradiated fish meat by real-time PCR. Food chemistry. 2015. vol. 182. pp. 150–155
- 8 Tikhonov B.B., Tikhonova N.A. Features of documenting quality management systems in the food industry. In the collection of scientific works of the II International Scientific Conference: The Current state of economic systems: Economics and Management. 2020. pp. 332–336. (in Russian).
- 9 Sundukova T.O., Wanykina G.V. Mathematical simulation and modeling competency. Paradigm of modern science. 2017. no. 2(4). pp. 12–21. (in Russian).
- 10 Sriraman B. Conceptualizing the model-eliciting perspective of mathematical problem solving. Proceedings of the Fourth Congress of the European Society for research in Mathematics Education (CERME 4). 2006. pp. 1686–1695.
- 11 Sukhodolov A.P., Marchenko V.A. System analysis, modeling, mathematical modeling. Irkutsk, Baikal State University, 2018. 144 p. (in Russian).
- 12 Tarasik V.P. Physical bases of the structural-matrix method of mathematical modeling of technical systems. Bulletin of the Belarusian-Russian University. 2016. no. 1(50). pp. 87–99. (in Russian).
- 13 Kokarev M.A., Buterus N.S. Modeling of heat and mass transfer processes and their mathematical description. Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice. 2018. no. 6 (42). pp. 179–181. (in Russian).
- 14 Kretova Yu.I., Tsurulnichenko L.A. Mathematical modeling as an effective tool for forecasting and managing production processes. Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and biotechnology. 2018. vol. 6. no. 1. pp. 5–13. (in Russian).
- 15 Ostrikov A.N., Bogomolov I.S., Filiptsov P.V. Mathematical modeling of the diffusion process of liquid additives into extruded pellets of feed stuff for prime fish species. Proceedings of VSUET. 2020. no. 82(3). pp. 19–23. (in Russian) doi:10.20914/2310-1202-2020-3-19-23


16 Dehdari L., Amani M.J., Parsaei R. Prediction of water solubility in ill-defined hydrocarbons at high temperatures: Modeling with the CPA-EoS. *Fluid Phase Equilibria*. 2017. vol. 454. pp. 11–21. doi:10.1016/j.fluid.2017.09.009

17 Lambert C., Laulan B., Decloux M. Simulation of a sugar beet factory using a chemical engineering software (ProSimPlus®) to perform Pinch and exergy analysis // *Journal of Food Engineering*. 2018. vol. 225. pp. 1–11. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2018.01.004

18 Onwude D.I., Hashim N., Abdan K. Modelling of coupled heat and mass transfer for combined infrared and hotairdrying of sweet potato. *Journal of Food Engineering*. 2018. vol. 228. pp. 12–24. doi:10.1016/j.jfoodeng.2018.02.006

#### **Сведения об авторах**

**Роза Т. Тимакова** д.т.н., доцент, кафедра пищевой инженерии, Уральский государственный экономический университет, ул. 8 Марта/Народной воли, 62/45, г. Екатеринбург, 620144, Россия, trt64@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-4777-1465>

#### **Information about authors**

**Roza T. Timakova** Doc. Sci. (Tech.), assistant professor, food engineering department, Ural State Economic University, St. 8-e Marta/Narodnoy voli, 62/45, Ekaterinburg, 620144, Russia, trt64@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-4777-1465>

#### **Вклад авторов**

**Роза Т. Тимакова** написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат

#### **Contribution**

**Roza T. Timakova** wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

#### **Конфликт интересов**

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

#### **Conflict of interest**

The author declares no conflict of interest.

<b>Поступила</b> 11/01/2021	<b>После редакции</b> 15/02/2021	<b>Принята в печать</b> 04/03/2021
<b>Received</b> 11/01/2021	<b>Accepted in revised</b> 15/02/2021	<b>Accepted</b> 04/03/2021