

Научная статья

УДК 664.14:62-52

DOI: 10.17586/2310-1164-2021-14-3-30-37

Разработка структурно-параметрической, математической и ситуационной моделей сепарирования семян подсолнечника

В.Г. Благовещенский, А.Е. Краснов, И.Г. Благовещенский, М.Ю. Музыка, В.В. Головин, М.М. Благовещенская*

*Московский государственный университет пищевых производств
Россия, Москва, *tmb@mgupr.ru*

Аннотация. Исследовали влияние основных входных параметров сырья, поступающего на производство халвы, на процесс сепарирования семян подсолнечника с целью разработки структурно-параметрической, математической и ситуационной моделей этого процесса. Объекты изучения – процесс сепарирования семян подсолнечника при производстве подсолнечной халвы и процессы сбора, анализа и обработки, в том числе экспертной информации в задачах непрерывного контроля показателей качества поступающего сырья. Использовали методы математического моделирования, системного анализа и математической статистики, теории цифровой обработки изображений, методологические и математические основы построения интеллектуальных систем управления, элементы теории искусственного интеллекта. Численная и графическая обработка результатов исследований производилась с применением MatLab. Получены параметрическая, математическая и ситуационная модели процесса сепарирования семян подсолнечника при производстве халвы. Доказана адекватность полученных моделей и выявлены наиболее влияющие показатели качества используемого сырья. Определены основные технологические и режимные параметры процесса сепарирования семян подсолнечника при производстве халвы, что является основой создания интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством халвы в процессе производства.

Ключевые слова: структурно-параметрическое моделирование; процесс сепарирования; производство халвы; семена подсолнечника

Original article

Development of structural-parametric and mathematical models for separating sunflower seeds for halva production

Vladislav G. Blagoveshchensky, Andrey E. Krasnov, Ivan G. Blagoveshchensky,
Maxim Yu. Music, Viktor V. Golovin, Margarita M. Blagoveshchenskaya**Moscow State University of Food Production
Moscow, Russia, *mmb@mgupr.ru*

Annotation. The influence of the main input parameters of raw materials supplied to the production of halva on the process of separating sunflower seeds was investigated in order to develop structural-parametric, mathematical, and situational models of this process. The objects of study are the process of separating sunflower seeds in the production of sunflower halva and the processes of collection, analysis, and processing, including expert information, in the tasks of continuous monitoring of the quality indicators of incoming raw materials. We used the methods of mathematical modeling, system analysis, and mathematical statistics, the theory of digital image processing, methodological and mathematical foundations for building intelligent control systems, as well as the elements of the theory of artificial intelligence. Numerical and graphic processing of the research results was carried out using MatLab. Parametric, mathematical, and situational models of sunflower seed separation in the production of halva have been received. The adequacy of the obtained models has been proved and the most influential indicators of the quality of the raw materials used have been identified. The main technological and operating parameters of the process of separating sunflower seeds in the production of halva have been determined, which is the basis for the creation of an intelligent automated system for controlling the quality of halva in the production process.

Keywords: structural and parametric modeling; separation process; halva production; sunflower seeds

Введение

Одной из важнейших технологических операций в ходе приемки, хранения и переработки сырья при производстве разнообразных кондитерских изделий, является сепарирование. Это весьма распространенный и присущий практически любому пищевому производству технологический процесс, представляющий собой механическое разделение сыпучих смесей на их составные, более однородные

фракции, отличающиеся свойствами частиц. Основная цель механического разделения смесей заключается в том, чтобы в процессе сепарирования выделить и сформировать фракции по таким признакам частиц, которые обеспечивают требуемое качество сырья, промежуточных и конечных продуктов. Четкость сепарирования влияет не только на качество полуфабрикатов и готовых изделий, но и определяет нагрузку и эффективность работы всех технологических машин и линий производства кондитерской продукции.

Из-за сложности производства кондитерской продукции и неоднородности поступающего сырья, существует огромное количество различных комбинаций факторов, влияющих на ход этих процессов, но при этом весьма ограниченное число их оптимальных вариантов. На поиск и обоснование таких сочетаний ориентировано моделирование и оптимизация исследуемых процессов кондитерских производств, что дает возможность на базе полученных результатов перейти к разработке интеллектуальных систем управления, позволяющих осуществлять своевременное автоматическое изменение технологических параметров процесса и режимов работы используемого оборудования.

Анализ публикаций, посвященных этой проблеме, показал, что работы Сайд Эль Шахат Абдалла Эль Саиди, Ф.Н. Эрка и др. посвящены выявлению основных закономерностей процесса сепарирования вороха семян подсолнечника и разработке математической модели этого процесса. Но полученные данные и разработанная математическая модель касаются предпосевной обработки семян подсолнечника. В свою очередь исследования W.K. Bilanski, R. Lai, N.R. Branedenburg, B.Y. Gorial, A.L. Hawk, J.J. Cassidy, M.M. Kashayap, A.C. Pandya, S. Kastemuller, G.C. Misner, J.H.A. Lee описывают технологические процессы послеуборочной обработки зерна и семян подсолнечника: процесса сепарирования зерна и семян подсолнечника в воздушно-решетной машине проводили в послеуборочный период на пневмосортировальном столе в потоке с уборкой. Был сделан вывод о необходимости своевременного и эффективного проведения этой технологической операции, поскольку это повышает семенные и продовольственные качества семян подсолнечника, а также уменьшает его потери. Однако воспользоваться напрямую проведенными исследованиями нам не представляется целесообразным, поскольку мы исследовали процесс сепарирования семян подсолнечника, являющегося основным сырьем при производстве халвы.

Различные вопросы по исследованию процессов сепарирования зерна и семян в семяочистительных машинах отражены в работах А.С. Pandya, W. Kutter, A.L. Hawk и J.J. Cassidy, Н. Trienes, J.B. Uhl и В.В. Lamp, J.E. Shellard и R.H. MacMillan, W. Rinke и др., в которых решались проблемы выявления основных закономерностей, разрабатывались принципы интенсификации процесса очистки вороха семян подсолнечника и обоснование рациональных параметров используемых зерноочистительных машин различных зарубежных марок.

Анализ отечественной научной литературы по обсуждаемой теме показал, что на сегодняшний день накоплен достаточный практический и теоретический объем информации по моделированию и исследованию пищевых масс в различных отраслях пищевой промышленности [1–3]. Вопросы создания интеллектуальных экспертных систем контроля и прогнозирования качества молочной, мукомольной, хлебопекарной, пивоваренной и мясной продукции с использованием математического моделирования этих производств описаны М.Г. Балыхиним, А.Б. Борзовым, И.Г. Благовещенским [4]. Задачам интеллектуального мониторинга оборудования зерноперерабатывающих предприятий и моделирования этих систем посвящены научные статьи М.М. Благовещенской, А.М. Костина, И.Г. Благовещенского, А.В. Татарина [5]. Ряд авторов в своей работе [6] указывают на целесообразность, и даже необходимость, создания интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством подсолнечной халвы на основе разработанного комплекса структурно-параметрической, математической и ситуационной моделей процесса сепарирования семян подсолнечника. Большой вклад в создание и совершенствование технологических процессов стерилизации консервов, создание, настройку и тестирование систем автоматического управления этими процессами с использованием имитационных моделей внесли С.А. Мокрушин, И.Г. Благовещенский, Е.А. Назойкин, В.В. Митин, С.В. Чувахин, М.М. Благовещенская, М.В. Жиров, М.Г. Балыхин [7–9]. Кроме того, Е.А. Назойкиным и М.А. Никитиной были защищены кандидатские диссертации в области математического и имитационного моделирования [10, 11].

В настоящее время халву производят в Турции, Ираке, Афганистане, а также в Греции, Болгарии, Румынии. Но воспользоваться исследованиями процессов производства такой халвы невозможно, поскольку в этих странах применяется совсем другая технология их производства, другое техническое оснащение, другие показатели качества сырья и готовой продукции.

Обзор и анализ состояния теории и практики моделирования процессов пищевой промышленности показал, что остаются нерешенными вопросы контроля качества кондитерской продукции с использованием моделирования. Так, до настоящего времени не созданы математические модели процессов производства такого полезного натурального кондитерского изделия, как подсолнечная халва. В настоящей работе был учтен и проработан опыт предыдущих исследований, использованы рекомендации, приводимые авторами перечисленных трудов.

Производство халвы – это сложный многоэтапный процесс, автоматизацию которого осуществить достаточно трудно в силу специфических свойств данной продукции. Многие проблемы автоматизации и развития процессов сепарирования семян подсолнечника до сих пор не рассматривались, поэтому ключевые задачи математического моделирования процесса сепарирования семян подсолнечника с целью оптимизации этого этапа при производстве халвы требуют особого внимания.

Рассмотрим один из путей решения проблемы повышения эффективности производства конфет на примере процесса сепарирования семян подсолнечника, являющегося основным сырьем получаемых конфет халвы. Засоренность семян подсолнечника колеблется в широких пределах и зависит от зоны произрастания, времени и способа уборки урожая, условий транспортирования, условий хранения и прочего. Из-за сложности процесса сепарирования и неоднородности сырья, участвующего в этом процессе, проблема автоматизации управления качеством производимой кондитерской продукции с использованием интеллектуальных технологий является важной задачей, требующей решения.

Для исключения брака готовой продукции и увеличения прибыли кондитерских предприятий, необходимо автоматизировать контроль коэффициента извлечения примесей при сепарировании семян подсолнечника с использованием системы компьютерного зрения. Первым этапом решения этой задачи является создание ситуационной, структурно-параметрической и математической моделей процесса подготовки сырья к производству подсолнечной халвы.

Разработка математической модели технологического процесса сепарирования семян подсолнечника позволит решить задачу автоматизации контроля качества сырья за счет выявления возмущений, влияющих на эти показатели.

Беря это во внимание, актуальным направлением исследований в этой области является моделирование процесса сепарирования семян подсолнечника с использованием интеллектуальных технологий и получение ситуационной, параметрической и математической моделей исследуемого процесса. Это позволит учесть множество различных факторов, влияющих на ход исследуемого технологического процесса, не проводя недопустимые эксперименты на реальной линии производства, заменяя их экспериментами на разработанных моделях, а также даст возможность прогнозировать поведения процесса сепарирования и свойства производимой халвы [6].

Цель данной работы – разработать структурно-параметрическую, математическую и ситуационную модели процесса сепарирования семян подсолнечника.

Методы

Для теоретического исследования процесса сепарирования семян подсолнечника использованы методы теории вероятностей. При изучении взаимосвязи между эффективностью процесса сепарирования и факторами, оказывающими наибольшее влияние на процесс очистки семян подсолнечника от мелких примесей, использованы методы регрессионного и корреляционного анализа. Используются также принципы математического моделирования производственных процессов, методы отыскания экстремума функции многих переменных, методы планирования и проведения экспериментов, методы построения регрессионных моделей, методы системного анализа и математической статистики, а также методы Протодяконова. С помощью программы MatLab проводилась графическая и числовая обработка результатов.

Результаты и их обсуждение

Для разработки ситуационной, структурно-параметрической и математической моделей процесса сепарирования семян подсолнечника были проведены экспериментальные исследования этого технологического процесса.

Экспертная группа кондитерских фабрик холдинга «Объединенные кондитеры» выявила наиболее важные входные параметры процесса сепарирования семян подсолнечника:

$X_1 (f)$ – влажность семян подсолнечника (13,5–14,5%);

$X_2 (t)$ – температура семян подсолнечника (25–40°C), обозначим $X_2 (t)$;

$X_3 (ГС)$ – гранулометрический состав семян подсолнечника (20–90 мк);

$X_4 (φ)$ – относительная влажность воздуха (20–90%), обозначим $X_4 (φ)$;

$X_5 (P)$ – расход воздуха при сепарировании (1200–1500 м³/т);

$X_6 (n)$ – частота колебаний сита при сепарировании семян подсолнечника (2,5–5 об/мин);

$Y_1 (X_7)$ – выходной параметр – коэффициент извлечения примеси в семенах подсолнечника, характеризующий качество основного сырья, %;

$Y_2 (X_8)$ – выходной параметр – внешний вид семян подсолнечника (размер, цвет, состояние поверхности, целостность).

Вследствие анализа проведенных исследований в таблице 1 показаны результаты опроса экспертов-технологов.

Таблица 1. Результаты опроса экспертов-технологов

Table 1. Results of survey among expert technologists

параметры процесса	Влажн. с. п., X_1	Температура с. п., X_2	Гранул. состав с. п., X_3	Влажн. воздуха, X_4	Расход воздуха, X_5	Частота колебаний сита, X_6	Коэффициент извлечения примесей, X_7	Внешний вид с.п., X_8
X_1	1				*	*	*	*
X_2	*	1			*	*	*	*
X_3			1		*	*	*	*
X_4	*	*		1	*	*	*	
X_5	*				1	*	*	*
X_6					*	1	*	
$Y_1 (X_7)$	*				*	*	1	*
$Y_2 (X_8)$	*		*		*	*	*	1

*наличие функциональной связи между входными и выходными переменными

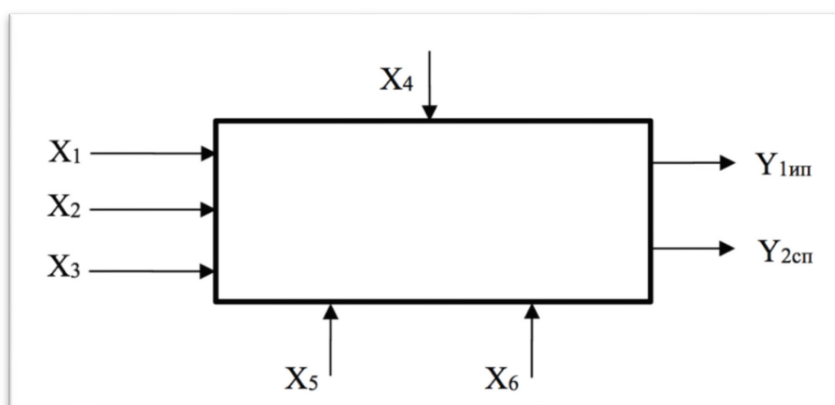


Рисунок 1 – Структурно-параметрическая модель процесса сепарирования семян подсолнечника при подготовке к производству халвы

Figure 1. Structural-parametric model of sunflower seed separation at the preparatory stage of halva production

Проведенные исследования позволили выявить основные параметры, влияющие на процесс сепарирования семян подсолнечника. Также были определены наиболее значимые выходные

параметры, характеризующие качество полученного в процессе сепарирования сырья. В результате анализа полученных данных на рисунке 1 представлена разработанная структурно-параметрическая модель процесса сепарирования семян подсолнечника.

В соответствии с методами построения структурно-параметрических моделей (СПМ), изложенными в работах [2–4], разработка этой модели на стадии сепарирования проводилась в два этапа.

В первую очередь по известной формуле

$$r_{ij} = \frac{\frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (\bar{x}_i - x_{ki})(\bar{x}_j - x_{kj})}{\sqrt{S_{x_i}^2} \sqrt{S_j^2}},$$

где r_{ij} – коэффициент корреляции между i и j параметрами;

\bar{x}_i, \bar{x}_j – среднее значение i и j параметров;

$S_{x_i}^2, S_{x_j}^2$ – дисперсия i и j параметров

определялись коэффициенты корреляции между параметрами. На основании полученных данных была сформирована преобразованная матрица коэффициентов корреляции, представленная в таблице 2, которая отражает глубину взаимосвязи между входными и выходными параметрами на этапе сепарирования семян подсолнечника.

Таблица 2. Преобразованная матрица коэффициентов корреляции

Table 2. Transformed matrix of correlation coefficients

параметры процесса	Влажность с. п., X_1	Температура с. п., X_2	Гран. состав с. п., X_3	Влажность воздуха, X_4	Расход воздуха, X_5	Частота колебаний сита, X_6	Коэффициент извлечения примесей, X_7	Внешний вид с. п., X_8
X_1	1	0	0	-0,643	0	0	0	0
X_2	0	1	0	0,733	0,530	0	-0,756	0
X_3	0	0	1	0	0	0,863	0	0,557
X_4	-0,643	0,733	0	1	0	0,684	0	0
X_5	0	0,530	0	0	1	0	0,602	0
X_6	0	0	0,863	0,684	0	1	0	0
$Y_1 (X_7)$	0	-0,756	0	0	0,602	0	1	0
$Y_2 (X_8)$	0	0	0,557	0	0	0	0	1

Таблица 3. Регрессионная матрица связей

Table 3. Regression constraint matrix

параметры процесса	Влажность с. п., X_1	Температура с. п., X_2	Гран. состав с. п., X_3	Влажность воздуха, X_4	Расход воздуха, X_5	Частота колебаний сита, X_6	Коэффициент извлечения примесей, X_7	Внешний вид с. п., X_8
X_1	1	0	0	-0,53	0	0	0	0
X_2	0	1	0	0,6	0,27	0	-0,25	0
X_3	0	0	1	0	0	0,33	0	0,48
X_4	-0,27	0,45	0	1	0	0,46	0	0
X_5	0	0,23	0	0	1	0	0,3	0
X_6	0	0	0,59	0,24	0	1	0	0
$Y_1 (X_7)$	0	-0,64	0	0	0,44	0	1	0
$Y_2 (X_8)$	0	0	0,38	0	0	0	0	1

Проверка значимости коэффициентов r_{ij} производилась по следующей формуле (критерий Стьюдента)

$$t_{ij} = \frac{r_{ij}\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r_{ij}^2}} > t_{кр}^{v,\alpha}.$$

При $t \geq t_{кр}$ коэффициент принимался значимым.

Полученные данные по регрессионной матрице связей основных параметров сепарирования семян подсолнечника представлены в таблице 3.

Полученная матрица безразмерных характеристик связей параметров процесса сепарирования представлена в таблице 4.

Таблица 4. Матрица безразмерных характеристик связей
Table 4. Matrix of relations' dimensionless characteristics

параметры процесса	Влажность с. п., X_1	Температура с. п., X_2	Гран. состав с. п., X_3	Влажность воздуха, X_4	Расход воздуха, X_5	Частота колебаний сита, X_6	Коэффициент извлечения примесей, X_7	Внешний вид с. п., X_8
X_1	1	0	0	-0,43	0	0	0	0
X_2	0	1	0	0,47	0,22	0	-0,1	0
X_3	0	0	1	0	0	0,48	0	0,56
X_4	-0,16	0,32	0	1	0	0,53	0	0
X_5	0	0,38	0	0	1	0	0,23	0
X_6	0	0	0,48	0,18	0	1	0	0
$Y_1 (X_7)$	0	-0,43	0	0	0,13	0	1	0
$Y_2 (X_8)$	0	0	0,16	0	0	0	0	1

На основании полученных результатов была выведена математическая модель процесса сепарирования семян подсолнечника

$$\left. \begin{aligned} Y_1 &= -0,72X_1 + 0,53X_2 - 0,81X_3 - 0,54X_4 + 0,78X_5 + 0,64X_6 \\ Y_2 &= -0,62X_1 + 0,54X_3 + 0,56X_5 + 0,48X_6 \end{aligned} \right\}$$

Адекватность полученных уравнений была проверена по относительной погрешности, а также коэффициенту множественной корреляции и критерию Стьюдента. Полученное расчетное значение критерия Фишера было больше теоретического критерия Фишера в ≈ 9 раз, т.е. $F_p \gg F_T$. Поэтому был сделан вывод об адекватности вышеприведенной математической модели, что позволило определить существенное влияние входных параметров на величину коэффициента извлечения примеси в семенах подсолнечника η ($Y_{инп}$) и внешний вид семян подсолнечника ($Y_{всп}$) (размер, цвет, состояние поверхности, целостность) при его подготовке к производству халвы [6]. Один из полученных графиков зависимости выходного параметра $Y_{инп}$ от входных параметров X_3 и X_5 представлен на рисунке 2.

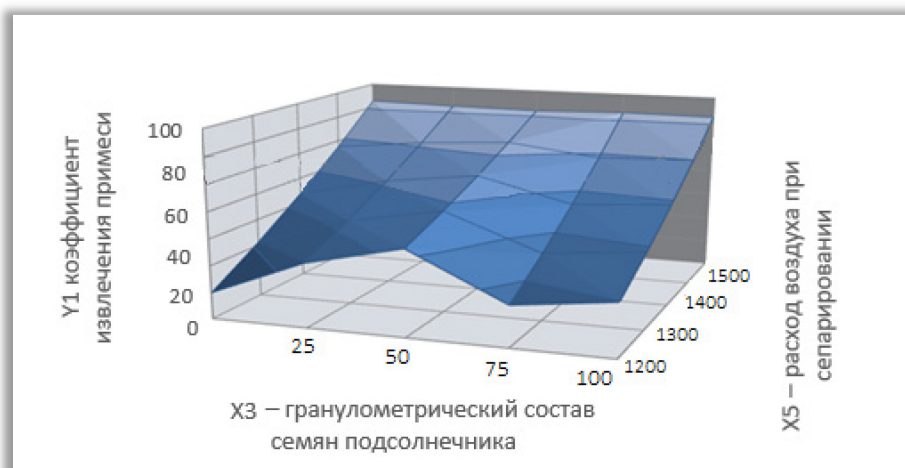


Рисунок 2. График зависимости выходного параметра $Y_{инп}$ от входных параметров
Figure 2. Dependency of output parameter $Y_{инп}$ on input parameters

Поскольку в процессе сепарирования присутствует большой разброс показателей качества семян подсолнечника по физическим, механическим и органолептическим свойствам, проведенное моделирование процесса сепарирования и создание ситуационной, структурно-параметрической и математической моделей позволят осуществить поиск и получить обоснование оптимального варианта комбинаций технологических и режимных параметров этапа сепарирования семян подсолнечника при производстве халвы, что является основой создания интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством халвы в процессе производства.

Заключение

В ходе данного исследования выбраны и обоснованы наиболее информативные показатели контроля качества сырья, используемого при производстве подсолнечной халвы. Это коэффициент извлечения примеси в семенах подсолнечника и внешний вид сырья, полученного в результате сепарирования, к которому относятся размер, цвет, состояние поверхности и целостность. Исследовано влияние на показатели качества семян подсолнечника после сепарирования технологических и режимных параметров данного процесса. Выявлено, что значительное влияние на проведение процесса сепарирования семян подсолнечника при производстве халвы оказывают такие входные показатели качества сырья, как влажность семян подсолнечника, его гранулометрический состав и температура на входе, а также режимы работы используемого оборудования: расход подаваемого воздуха при сепарировании семян подсолнечника и частота колебаний сит в сепараторе. Благодаря полученным данным и в результате проведенного моделирования разработаны ситуационная, структурно-параметрическая и математическая модели процесса сепарирования семян подсолнечника, являющегося основным сырьем производства халвы.

Полученный в данной работе комплекс моделей является основой создания интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством халвы в процессе производства.

Литература

1. Blagoveshchenskaya M.M., Blagoveshchenskiy V.G., Rogelio S.C.M., Petryakov A.N. Development of a neural network model for controlling the process of dosing bulk food masses. *Journal of Physics: Conference Series*. 2020, Is. 1705, article 012027.
2. Александрова И.Е., Александрова Т.Е. Математическое моделирование, системный анализ и синтез сложных технических объектов. Красноярск: Научно-инновационный центр, 2016. 208 с.
3. Ивашкин Ю.А. Агентные технологии и мультиагентное моделирование систем. М.: МФТИ, 2013. 268.
4. Бальхин М.Г., Борзов А.Б., Благовещенский И.Г. Методологические основы создания экспертных систем контроля и прогнозирования качества пищевой продукции с использованием интеллектуальных технологий. М.: Франтера, 2017. 394 с.
5. Благовещенская М.М., Костин А.М., Благовещенский И.Г., Татаринов А.В. Распределенные автоматизированные системы интеллектуального мониторинга оборудования зерноперерабатывающих предприятий // Развитие пищевой и перерабатывающей промышленности России: кадры и наука: сб. тр. М.: Изд-во Московского гос. ун-та пищевых произв., 2017. Ч. 1. С. 171–175.
6. Благовещенский В.Г., Крылова Л.А., Максимов А.С. Разработка программно-аппаратного комплекса мониторинга производства халвы // Развитие пищевой и перерабатывающей промышленности России: кадры и наука: сб. тр. Изд-во Московского гос. ун-та пищевых произв., 2017. Ч. 1. С. 196–199.
7. Мокрушин С.А., Охаткин С.И., Москвин Э.В. Особенности построения системы управления процессом тепловой обработки пищевых продуктов в автоклавах // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2015. № 10. С. 45–49.
8. Мокрушин С.А., Благовещенский И.Г., Благовещенская М.М., Жиров М.В., Чувахин С.В. Создание, настройка и тестирование системы автоматического управления технологическим процессом стерилизации консервов с использованием имитационной модели // Интеллектуальные системы и технологии в отраслях пищевой промышленности: сб. тр. М.: Изд-во Московского гос. ун-та пищевых произв., 2019. С. 100–109.
9. Мокрушин С.А., Охаткин С.И., Хорошавин В.С. Исследование процесса стерилизации консервной продукции с целью дальнейшей автоматизации // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». 2015. № 4. С. 62–72.
10. Назойкин Е.А. Мультиагентное имитационное моделирование образовательного процесса накопления знаний: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2011. 24 с.
11. Никитина М.А. Структурно-параметрическое моделирование и оптимизация системы адекватного питания. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. М. 2002. 22 с.

References

1. Blagoveshchenskaya M.M., Blagoveshchenskiy V.G., Rogelio S.C.M., Petryakov A.N. Development of a neural network model for controlling the process of dosing bulk food masses. *Journal of Physics: Conference Series*. 2020, Is. 1705, article 012027.
2. Alexandrova I.E., Alexandrova T.E. *Mathematical modeling, system analysis and synthesis of complex technical objects*. Krasnoyarsk, Scientific Innovation Center Publ., 2016. 208 p. (In Russian)
3. Ivashkin Yu.A. *Agent technologies and multiagent system modeling*. Moscow. Moscow Institute of Physics and Technology Publ., 2002. 268 p. (In Russian)
4. Balykhin M.G., Borzov A.B., Blagoveshchenskiy I.G. *Methodological bases of creation of expert systems of control and forecasting of quality of food products with the use of intelligent technologies*. Moscow. Frontera Publ. 2017. 395 p. (In Russian)
5. Blagoveshchenskaya M.M., Kostin A.M., Blagoveshchenskiy I.G., Tatarinov A.V. Distributed automated systems for intelligent monitoring of equipment of grain processing enterprises. *Development of the food and processing industry in Russia: personnel and science*. Collection of work. Moscow: Moscow State University of Food Production Publ. 2017, Part 1, pp. 171–175. (In Russian)
6. Blagoveshchenskiy V.G., Krylova L.A., Maksimov A.S. Development of a hardware and software complex for monitoring halva production. *Development of the food and processing industry in Russia: personnel and science*. Collection of work. Moscow, Moscow State University of Food Production Publ. 2017, Part 1, pp. 196–199. (In Russian)
7. Mokrushin S.A., Ohapkin S.I., Moskvina E.V. Features of construction process control system thermally processed foods in an autoclave. *Proceedings of Saint Petersburg Electrotechnical University Journal*. 2015, no. 10, pp. 45–49. (In Russian)
8. Mokrushin S.A., Blagoveshchenskiy I.G., Blagoveshchenskaya M.M., Zhironov M.V., Chuvakhin S.V. Creation, configuration and testing of an automatic control system for the technological process of sterilization of canned food using a simulation model. *Intelligent systems and technologies in the food industry*. Collection of work. Moscow, Moscow State University of Food Production Publ. 2019, pp. 100–109. (In Russian)
9. Mokrushin S.A., Ohapkin S.I., Khoroshavin V.S. Investigation of the sterilization process of canned products for further automation. *Processes and Food Production Equipment*. 2015, no. 4, pp. 62–67. (In Russian)
10. Nazoykin E.A. Multiagent simulation of the educational process of knowledge accumulation. *Extended abstract of candidate's thesis*. Moscow, 2011. (In Russian)
11. Nikitina M.A. Structural and parametric modeling and optimization of the system of adequate nutrition. *Extended abstract of candidate's thesis*. Moscow, 2002. (In Russian)

Информация об авторах

Владислав Германович Благовещенский – аспирант кафедры автоматизированных систем управления биотехнологическими процессами

Андрей Евгеньевич Краснов – д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры автоматизированных систем управления биотехнологическими процессами

Иван Германович Благовещенский – д-р техн. наук, доцент, директор Института промышленной инженерии, информационных технологий и мехатроники

Максим Юрьевич Музыка – проректор по экономике и стратегическому развитию

Виктор Викторович Головин – канд. техн. наук, зам. директора департамента технической политики и инноваций

Маргарита Михайловна Благовещенская – д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой автоматизированных систем управления биотехнологическими процессами

Information about the authors

Vladislav G. Blagoveshchenskiy, Postgraduate Student of the Department of Automated Control Systems for Biotechnological Processes

Andrey E. Krasnov, D. Sc., Professor of the Department of Automated Control Systems for Biotechnological Processes

Ivan G. Blagoveshchenskiy, D. Sc., Associate Professor, Head of the Institute of Industrial Engineering, Information Technologies and Mechatronics

Maxim Yu. Music, Vice-Rector for Economics and Strategic Development

Viktor V. Golovin, Ph. D., Deputy Director of the Department of Technical Policy and Innovation

Margarita M. Blagoveshchenskaya, D. Sc., Professor, Head of the Department Automated Control systems of biotechnological processes

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflicts of interests

Статья поступила в редакцию 25.07.2021

Одобрена после рецензирования 16.09.2021

Принята к публикации 20.09.2021

The article was submitted 25.07.2021

Approved after reviewing 16.09.2021

Accepted for publication 20.09.2021