

Математическое обеспечение процесса экструдирования аномально-вязких сред методами планирования эксперимента

Виталий Н. Василенко	¹	vvv_1977@mail.ru
Лариса Н. Фролова	¹	fln-84@mail.ru
Анна А. Дерканосова	¹	aa-derk@yandex.ru
Надежда А. Михайлова	¹	
Анастасия А. Щепкина	¹	
Артём М. Давыдов	²	amdavydov@mail.ru

¹ Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия² Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, Стремянный переулок, 36, Москва, 117997, Россия

Реферат. Представлены результаты моделирования – некой математической функции, которая описывает поведение объекта исследования, абстрагируясь от внутренней структуры вещественного субстрата. Рассматриваемое построение моделей экспериментальных зависимостей экструдирования аномально-вязких сред включает в себя следующие этапы: уточнение в зависимости от конкретной задачи оптимизируемых параметров (удельные энергозатраты на процесс экструзии, давление в предматричной зоне, комплексный органолептический показатель качества и др.); выбор факторов, определяющих изменчивость оптимизируемых параметров (начальная влажность продукта, частота вращения шнека, живое сечение матрицы и др.); подбор интервалов изменения факторов; подбор плана и условий проведения эксперимента; анализ данных эксперимента и построение математической модели зависимостей оптимизируемых параметров от выбранных факторов. При планировании эксперимента найдены условия для проведения опытов, получения достоверной и точной информации об объекте, с затратами минимальных усилий, подачи информации в удобной форме и количественной оценкой точности. Была решена задача оптимизации исследуемого процесса, которая позволяет найти такие режимы работы экструдера, которые бы в широком диапазоне изменения входных параметров продукта составляли минимум удельных энергозатрат, оптимальное давление в предматричной зоне и максимальный комплексный органолептический показатель качества. Полученные результаты позволяют выявить влияние отдельных факторов на функционирование экструдеров и могут быть использованы при проектировании и оптимизации их работы. Они окажут влияние на развитие научных, научно-технических и технологических направлений в области создания новых продуктов питания с программируемыми свойствами (в т. ч. лечебно-профилактического действия). Выполненные на их основе опытно-конструкторские разработки позволяют выявить новые технологические решения в области создания технологического оборудования нового поколения для различных отраслей пищевой промышленности. Разработанные рекомендации и предложения по использованию результатов уже применяются в проводящихся инновационных проектах по созданию экструдеров, а также другого оборудования.

Ключевые слова: экструзия, планирование эксперимента, статистическая модель, аномально-вязкая жидкость

Software of the extrusion process abnormally viscous fluids methods of experiment planning

Vitalii N. Vasilenko	¹	vvv_1977@mail.ru
Larisa N. Frolova	¹	fln-84@mail.ru
Anna A. Derkanosova	¹	aa-derk@yandex.ru
Nadezhda A. Mikhailova	¹	
Anastasija A. Shhepkina	¹	
Artem M. Davydov	²	amdavydov@mail.ru

¹ Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia² Plekhanov Russian University of Economics, Stremyanny lane, 36, Moscow, 117997, Russia

Summary. Article is devoted to the results of modeling-a certain mathematical function that describes the behavior of the object of study, abstracting from the internal structure of the real substrate. Materials and Methods: discusses the construction of models of experimental dependencies extruding abnormally viscous fluids, includes the following stages: clarification, depending on the specific tasks optimized parameters (specific energy consumption in the extrusion process, the pressure in predatrice area, complex organoleptic quality score, etc.); the choice of factors determining the variability of the optimized parameters (initial moisture of the product, the frequency of rotation of the screw, the living section of the matrix, etc.); the selection of intervals of change of factors; recruitment plan and the conditions of the experiment; analysis of experiment data and construction of mathematical model of dependencies of optimized parameters on selected factors. Results: when planning an experiment, the conditions for conducting experiments, obtaining reliable and accurate information about the object, with minimal effort, providing information in a convenient form and quantitative accuracy assessment. Discussion: the problem of optimization of the studied process was solved, which allows to find such modes of the extruder, which would be in a wide range of changes in the input parameters of the product amounted to a minimum of specific energy consumption, the optimal pressure in the pre-matrix zone and the maximum complex organo-leptic quality index. Conclusion: the obtained results reveal the influence of individual factors on the operation of extruders and can be used in the design and optimization of their operation. They will have an impact on the development of scientific, scientific, technical and technological directions in the field of creating new food products with programmable properties (including therapeutic and prophylactic action). Made on their basis, experimental design will reveal new technological solutions in the field of creation of new generation technological equipment for various branches of the food industry. The developed recommendations and proposals for the use of the results are already used in the ongoing innovative projects for the creation of extruders, as well as other equipment.

Keywords: extrusion, design of experiments, statistical model, abnormally-viscous liquid

Для цитирования

Василенко В.Н., Фролова Л.Н., Дерканосова А.А., Михайлова Н.А., Щепкина А.А., Давыдов А.М. Математическое обеспечение процесса экструдирования аномально-вязких сред методами планирования эксперимента // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 3. С. 37–42. doi:10.20914/2310-1202-2018-3-37-42

For citation

Vasilenko V.N., Frolova L.N., Derkanosova A.A., Mihajlova N.A., Shhepkina A.A., Davydov A.M. Software of the extrusion process abnormally viscous fluids methods of experiment planning. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 3. pp. 37–42. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-3-37-42

Введение

Процессы и аппараты комбикормовой отрасли имеют большое количество и разнообразие параметров, которые определяют ход процессов, значительное количество внутренних связей между параметрами. Бывают случаи, когда существует чувствительность потоков, где происходит процесс, к возмущениям извне и к малейшим изменениям условий взаимодействия потока с окружающей средой, что вынуждает отказаться от строго аналитического исследования, фиксирующего условия на границах системы. Для ограничения такого большого потока информации о процессе делается его статистическая модель, отражающая отдельные явления изучаемого процесса [4, 5].

Материалы и методы

Чтобы получить статистическую модель, когда планируется эксперимент в области оптимальных значений параметров, важно детальное изучение функции отклика. Для этого она задается как полином второй или большей степени. Полиномиальная модель позволяет решать задачи, связанные с интерполяцией – прогнозированием значений функции отклика в середине исследуемого факторного пространства в каждой его точке; экстраполяцией – прогнозированием функций отклика для точки, которая расположена вне факторного пространства; оптимизацией – определением оптимальных значений параметров, максимизируя или минимизируя целевую функцию.

Результаты

С помощью полиномиальной модели возможна оценка степени влияния на функцию отклика разных факторов, минимизация ресурсов и построение различных графиков и диаграмм. С помощью математической модели почти

стационарной области можно образно представить и точнее изучить экстремальную поверхность отклика. По большинству случаев экстремальная область описывается полиномами 2-го порядка [1].

Возможно эмпирическое получение математического описания процесса экструдирования комбикормов. Его математическая модель будет иметь вид уравнения регрессии, найденного статистическими методами по результатам исследований. Математическая модель изучаемого процесса имеет вид полинома 2-й степени (1):

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^N b_i x_i + \sum_{i=1}^N b_{ii} x_i^2 + \sum_{i \leq j}^N b_{ij} x_i x_j, \quad (1)$$

где b_0 – свободный член уравнения, равный средней величине отклика при условии, что изучаемые факторы имеют средние, «нулевые» уровни; x – масштабированными значениями факторов, определяющих функцию отклика и поддающихся варьированию; i, j – индексы факторов; b_i – коэффициенты при линейных членах; b_{ij} – коэффициенты двухфакторных взаимодействий, показывающие, как сильно меняется степень влияния одного фактора, когда изменяется величина другого; b_{ii} – коэффициенты квадратичных эффектов, которые определяют нелинейность выходного параметра от рассматриваемых факторов; N – число факторов в матрице планирования.

В качестве основных факторов, которые влияют на процесс экструзии, выбрали: x_1 – начальная влажность продукта, %; x_2 – частота вращения шнека, c^{-1} ; x_3 – конструктивный параметр (отношение внутреннего диаметра шнека к наружному); x_4 – живое сечение матрицы (отношение суммарной площади отверстий к площади выходного сечения матрицы); x_5 – длина канала матрицы, м.

Все эти факторы совместимы и не коррелируемы между собой. В таблице 1 даны пределы изменения исследуемых факторов.

Таблица 1.

Пределы изменения входных факторов

Table 1.

The range of variation of the input factors

Условия планирования Planning conditions	Пределы изменения факторов The range of variation of the factors				
	$x_1, \%$	x_2, c^{-1}	x_3	x_4	x_5
Основной уровень Basic level	15	7	0,0239	0,05	0,09
Нижний уровень Lower level	13	6	0,0154	0,03	0,05
Верхний уровень Upper level	17	8	0,0324	0,07	0,14
Интервал варьирования The range of variation in	2	1	0,0084	0,01	0,04
Нижняя «звездная точка» Lower " star point»	11	5	0,0069	0,01	0,00
Верхняя «звездная точка» Higher " star point»	19	9	0,0409	0,09	0,19

Выбирают интервалы изменения факторов в зависимости от технологических условий процесса экструзии, сюда входят технические характеристики экструзионной установки. Критериями, оценивающими влияние разных

факторов на процесс экструдирования, являются: Y_1 – удельные энергозатраты на процесс экструзии, кДж/кг; Y_2 – давление в предматричной зоне, МПа; Y_3 – комплексный органолептический показатель качества (КОПК).

Выбор критериев оценки Y связан с их наибольшей значимостью для процесса экструзии [6]. Так, Y_1 – является важнейшим показателем в оценке его энергетической эффективности; Y_2 – определяет глубину физико-химических изменений питательных веществ при экструдировании; Y_3 – определяет качество готового продукта.

Программа исследований была заложена в матрицу планирования эксперимента. Воспользовались центральным композиционным ротатабельным униформпланированием, выбрав дробный факторный эксперимент 2^{5-1} [3] с дробной репликой $x_5 = x_1x_2x_3x_4$. Порядок опытов

$$y_1 = 0,248 - 0,058 x_1 + 0,011 x_2 - 0,013 x_3 + 0,005 x_4 + 0,067 x_5 - 0,015 x_1x_2 + 0,015 x_1x_3 + 0,008 x_1x_4 - 0,033 x_1x_5 + 0,007 x_2x_3 + 0,011 x_2x_4 - 0,002 x_2x_5 - 0,011 x_3x_4 - 0,002 x_3x_5 + 0,011 x_4x_5 + 0,006 x_{12} - 0,003 x_2^2 - 0,003 x_3^2 + 0,055 x_4^2; \quad (2)$$

$$y_2 = 0,250 - 0,266 x_1 + 0,165 x_2 + 0,482 x_3 - 0,483 x_4 - 0,315 x_5 - 0,123 x_1x_2 - 0,048 x_1x_3 + 0,001 x_1x_4 + 0,623 x_1x_5 - 0,323 x_2x_3 + 0,375 x_2x_4 - 0,201 x_2x_5 + 0,250 x_3x_4 + 0,123 x_3x_5 - 0,375 x_4x_5 - 0,090 x_1^2 - 0,015 x_2^2 + 0,133 x_3^2 + 0,183 x_4^2 + 0,208 x_5^2; \quad (3)$$

$$y_3 = 0,978 + 0,047 x_1 + 0,032 x_2 + 0,496 x_3 + 0,036 x_4 + 0,024 x_5 - 0,037 x_1x_2 + 0,007 x_1x_3 + 0,001 x_1x_4 - 0,017 x_1x_5 + 0,005 x_2x_3 + 0,001 x_2x_4 - 0,017 x_2x_5 - 0,032 x_3x_4 - 0,013 x_3x_5 - 0,022 x_4x_5 - 1,778 x_1^2 - 1,566 x_2^2 - 0,416 x_3^2 - 1,041 x_4^2 - 1,291 x_5^2. \quad (4)$$

Все полученные уравнения (2)–(4) нелинейны.

После проведения 32 экспериментов получили данные о воздействии факторов. Выполнили построение математической модели процесса, позволяющей произвести расчет удельных энергозатрат, давления в предматричной зоне, комплексного органолептического показателя качества внутри установленных интервалов различных входных факторов.

Задача оптимизации такова – определить режимы работы экструдера, чтобы они в широком диапазоне изменения входных параметров продукта составляли минимальные удельные энергозатраты, оптимальное давление в предматричной зоне и максимальный комплексный органолептический показатель качества. Общая математическая постановка задачи оптимизации дана в виде модели [2, 6]:

$$\begin{aligned} q &= q(y_1, y_2, y_3)_{x \in D} \rightarrow \text{opt} \\ D: y_1(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5)_{x \in D} &\rightarrow \min \\ y_2(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5)_{x \in D} &\rightarrow \text{opt} \\ y_3(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5)_{x \in D} &\rightarrow \max \\ y_i > 0, i = 1, 3; x_j [2; 2], j = 15 \end{aligned} \quad (5)$$

рандомизировали посредством таблицы случайных чисел, чтобы исключить возможность влияния неконтролируемых параметров на результаты эксперимента.

Обработывая данные исследований, воспользовались следующими статистическими критериями: проверка однородности дисперсий проводилась по критерию Кохрена, значимость коэффициентов уравнений регрессии – по критерию Стьюдента, адекватность уравнений – по критерию Фишера. Статистически обработав экспериментальные данные, получили уравнения регрессии, которые адекватно описывают этот процесс под влиянием исследуемых факторов:

Предположим, что вычисленные формулы (2)–(4) дают описания некоторых поверхностей в многомерном пространстве. Коэффициенты канонической формы дают возможность установить, какой вид тел представляют собой эти поверхности.

Найдем из системы уравнений, которые получили в ходе дифференцирования уравнений регрессии (2)–(4) по x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 , координаты центра x_{is} и приравняем производные к нулю. С помощью координат центра x_{is} из уравнений (2)–(4) определим соответствующие им значения параметров оптимизации (таблица 2).

Таблица 2.
Оптимальные значения входных факторов
Table 2.
The optimal values of input factors

y_i	x_{1s}	x_{2s}	x_{3s}	x_{4s}	x_{5s}	y_s
y_1	-0,014	-0,211	-2,016	-0,018	0,146	0,177
y_2	0,483	-1,769	-0,363	-0,300	-1,018	1,584
y_3	0,497	-0,011	-0,596	-0,008	-0,006	7,728

Чтобы найти канонические коэффициенты B_i по уравнениям (2)–(4), составили характеристический полином, приравненный к нулю:

$$\begin{array}{cccccc}
(b_{11}-B) & 0,5 b_{12} & 0,5 b_{13} & 0,5 b_{14} & 0,5 b_{15} & \\
0,5 b_{21} & (b_{22}-B) & 0,5 b_{23} & 0,5 b_{24} & 0,5 b_{25} & \\
0,5 b_{31} & 0,5 b_{32} & (b_{33}-B) & 0,5 b_{34} & 0,5 b_{35} & = 0 \quad (6) \\
0,5 b_{41} & 0,5 b_{42} & 0,5 b_{43} & (b_{44}-B) & 0,5 b_{45} & \\
0,5 b_{51} & 0,5 b_{52} & 0,5 b_{53} & 0,5 b_{54} & (b_{55}-B) &
\end{array}$$

где B – канонический коэффициент.

Подставив значения коэффициентов уравнений (2)–(4) в матрицу (6) и решив нелинейные уравнения 5-й степени, вычислили канонические коэффициенты. После анализа полученных канонических уравнений выяснили, что изучаемые тела в 5-мерном пространстве принадлежат к типу «минимакса»: при движении в направлении осей, у которых X_i положительны, от центра оптимизации идет возрастание значений выходных параметров, а в направлении осей, для которых X_i отрицательны, снижение. Противоположные знаки коэффициентов канонических уравнений влияют на то, что поверхности отклика – это одно- или двухполосный гиперболоид [5-9].

На рисунках 1–2 показаны кривые равных значений выходных параметров, несущие смысл номограмм и представляющие практический интерес.

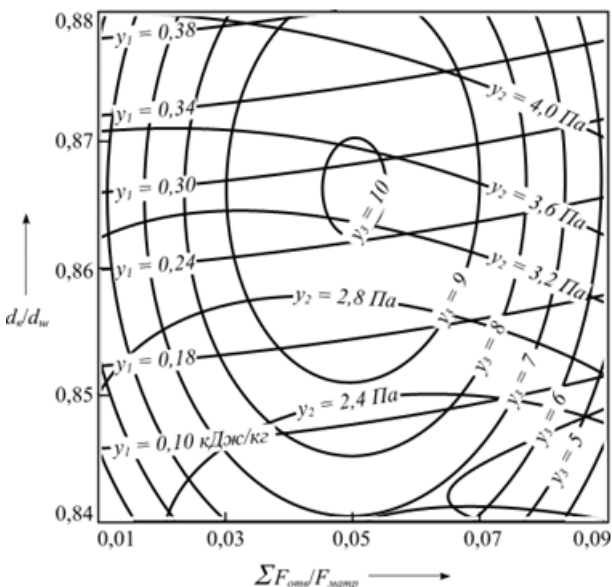


Рисунок 1. Номограмма зависимости удельных энергозатрат y_1 , давления в предматричной зоне y_2 и комплексного органолептического показателя качества y_3 от конструктивного параметра и живого сечения матрицы: при $W_n = 16\%$; $\omega = 8 \text{ c}^{-1}$; $G_{отв}/G_{общ} = 0,1$

Figure 1. Nomogram based on unit energy consumption of y_1 , pressure, y_2 predatrice area and a comprehensive organoleptic quality indicator y_3 from a constructive parameter, and the living section of the matrix: when $W_n = 16,0\%$; $\omega = 8 \text{ c}^{-1}$; $G_{отв}/G_{общ} = 0,1$

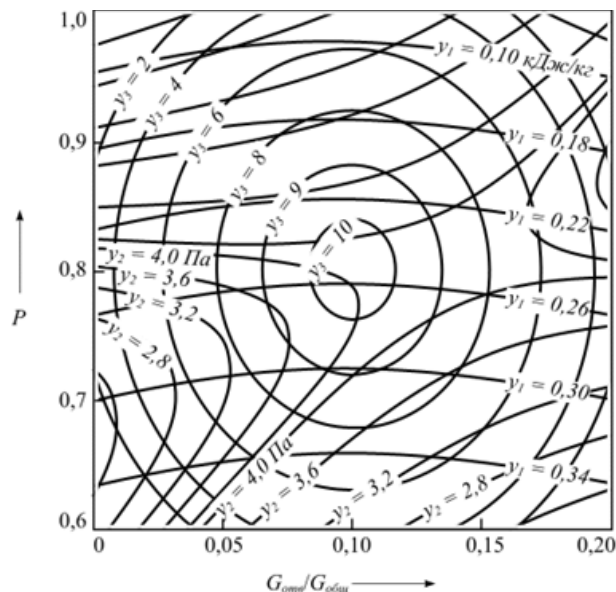


Рисунок 2. Номограмма зависимости удельных энергозатрат y_1 , давления в предматричной зоне y_2 и комплексного органолептического показателя качества y_3 от частоты вращения шнека и длины канала матрицы: при $W_n = 16\%$; $d_w/d_{шн} = 0,86$; $\Sigma F_{отв}/F_{матр} = 0,05$

Figure 2. Nomogram of dependence of specific energy consumption in y_1 , pressure in the prematrix zone y_2 and complex organoleptic quality index y_3 on the frequency of rotation of the screw and the length of the matrix channel: $W_n = 16\%$; $d_w/d_{шн} = 0,86$; $\Sigma F_{отв}/F_{матр} = 0,05$

Чтобы определить оптимальные режимы, применяют метод “ридж-анализ”, базирующийся на методе неопределенных множителей Лагранжа [4]. Чтобы выбрать оптимальный режим по уравнениям регрессии (2)–(4), составили такую систему уравнений:

$$\begin{cases}
(b_{11} - \lambda)x_1 + 0,5b_{12}x_2 + 0,5b_{13}x_3 + 0,5b_{14}x_4 + 0,5b_{15}x_5 + 0,5b_1 = 0 \\
0,5b_{21}x_1 + (b_{22} - \lambda)x_2 + 0,5b_{23}x_3 + 0,5b_{24}x_4 + 0,5b_{25}x_5 + 0,5b_2 = 0 \\
0,5b_{31}x_1 + 0,5b_{32}x_2 + (b_{33} - \lambda)x_3 + 0,5b_{34}x_4 + 0,5b_{35}x_5 + 0,5b_3 = 0 \\
0,5b_{41}x_1 + 0,5b_{42}x_2 + 0,5b_{43}x_3 + (b_{44} - \lambda)x_4 + 0,5b_{45}x_5 + 0,5b_4 = 0 \\
0,5b_{51}x_1 + 0,5b_{52}x_2 + 0,5b_{53}x_3 + 0,5b_{54}x_4 + (b_{55} - \lambda)x_5 + 0,5b_5 = 0
\end{cases} \quad (7)$$

где λ – неопределенный множитель Лагранжа.

На величину λ накладывается ограничение, которое определяется параметром Хорля:

$$\lambda' = 2(B_{\max} - b_{kk}), \quad (8)$$

где B_{\max} – максимальный или минимальный (в зависимости от задачи) канонический коэффициент; b_{kk} – коэффициент регрессии при k -м квадратичном члене.

В этом случае допустимые значения λ лежат в пределах:

$$\begin{aligned}
& \text{– удельные энергозатраты} \\
& 2,0 < \lambda < -0,2; \quad (9)
\end{aligned}$$

- давление в предматричной зоне
 $-0,80 < \lambda < -0,26;$ (10)

- максимальный комплексный органолептический показатель качества
 $-8,0 < \lambda < -0,8.$ (11)

Задавались значениями X из интервалов (9)–(11), по уравнению (9) определили оптимальность режимов процесса экструдирования для удельных энергозатрат, давления в предматричной зоне, комплексного органолептического показателя качества.

Для всех исследуемых выходных факторов в таблице 3 сведены выбранные оптимальные интервалы изменения параметров X_i .

Таблица 3.
Оптимальные интервалы параметров

Table 3.
Optimal intervals of the parameters

y	x ₁ , %		x ₂ , с ⁻¹		x ₃ ,		x ₄		x ₅	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
y ₁	14,91	15,82	7,15	8,26	0,861	0,872	0,048	0,051	0,007	0,009
y ₂	15,14	16,13	8,31	9,14	0,842	0,851	0,058	0,068	0,010	0,011
y ₃	15,52	15,73	6,24	7,10	0,862	0,870	0,043	0,045	0,011	0,018

Обсуждение

Из критерия оптимизации (9) следует, что для принятия окончательного решения по выбору оптимальных режимов изучаемого процесса, необходимо решить компромиссную задачу. Оптимальные интервалы параметров x_i , выделенные в таблице 3, наложим друг на друга.

Для параметра x_1 (начальная влажность продукта) – это интервал 15,52–15,73%.

Независимые переменные: x_2 – частота вращения шнека, x_3 – конструктивный параметр, x_4 – коэффициент живого сечения матрицы,

x_5 – длина канала матрицы конфликтуют друг с другом относительно критериев оптимизации.

Для критериев y_1 , y_2 и y_3 выделенный интервал изменения x_2 от указанного в таблице 3 мало отличается, следовательно, для параметра x_2 (частота вращения шнека) примем $x_5 = 7,50–8,00$ с⁻¹, для параметра x_4 (коэффициент живого сечения матрицы) – $x_4 = 0,044–0,055$.

Параметр x_3 относительно критериев оптимизации y_1 (удельные энергозатраты) и y_3 (комплексный органолептический показатель качества) имеет оптимальный интервал 0,862–0,870 МПа. Но он конфликтует по критерию оптимизации с y_2 (давление в предматричной зоне).

Параметр x_5 относительно критериев оптимизации y_2 (давление в предматричной зоне) и y_3 (комплексный органолептический показатель качества) имеет оптимальный интервал 0,011–0,018.

Заключение

Множество Парето получили методом Ψ -преобразования, варьируя весовой коэффициент α_i в интервале $[0, 1] \left(\sum_{i=1}^k \alpha_i = 1 \right)$.

Применив указанный метод, получили субоптимальные интервалы изменения параметров: $x_3 = 0,853–0,866$; $x_5 = 0,099–0,102$.

Для проверки правильности найденных результатов провели ряд параллельных опытов. Результаты попали в вычисленные доверительные интервалы по всем критериям качества. Среднеквадратичная ошибка была не более 4,5%.

Благодарности

Работа выполнена на базе Центра коллективного пользования «Контроль и управления энергоэффективными проектами» ФГБОУ ВО «ВГУИТ».

ЛИТЕРАТУРА

- Остриков А.Н., Павлов И.О., Ненахов Р.В., Василенко В.Н. Математическая модель неизоэтермического течения жидкости в предматричной зоне экструдера // Хранение и переработка сельхозсырья. 2001. № 12. С. 7–9.
- Василенко В.Н., Копылов М.В., Фролова Л.Н., Драган И.В. Математическая модель движения сырья в шнековом канале маслопресса // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2013. № 3 (57). С. 18–22.
- Остриков А.Н., Ненахов Р.В., Василенко В.Н. Многофакторный статический анализ процесса экструзии комбинированных картофелепродуктов, обогащенных белковыми добавками // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2001. № 4. С. 13–15.
- Comminal R. et al. Numerical modeling of the strand deposition flow in extrusion-based additive manufacturing // Additive Manufacturing. 2018. V. 20. P. 68–76.

- Malone E., Berry M., Lipson H. Freeform fabrication and characterization of Zn-air batteries // Rapid Prototyping Journal. 2008. V. 14. № 3. –P. 128–140.

- Sousa L. C. et al. Computational simulation of carotid stenosis and flow dynamics based on patient ultrasound data—A new tool for risk assessment and surgical planning // Advances in medical sciences. 2016. V. 61. № 1. P. 32–39.

- Алексеев Г.В., Гончаров М.В., Леу А.Г., Кривоустов В.В. Численные подходы к моделированию процесса экспандирования // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2017. №79(2). С. 53–60. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2017-2-53-60>

- Пальчиков А.Н., Аксенова О.И. Технические средства для получения полуфабрикатов корпуса и начинки для экструдированных пищевых продуктов // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2015. № 2. С. 35–43. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2015-2-35-43>

9 Верболоз Е.И., Лоза А.А. Оценка значений технологических параметров электрогидравлического воздействия на зерновой продукт численными методами // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2017. №. 79(2). С. 68-72. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2017-2-68-72>

REFERENCES

1 Ostrikov A.N., Pavlov I.O., Nenakhov R.V., Vasilenko V.N. Mathematical model of nonisothermal fluid flow in the prematrix zone of the extruder. *Xranenie i pererabotka selkhozsyrya* [Storage and processing of agricultural raw materials] 2001, no 12. pp. 7–9. (in Russian)

2 Vasilenko V.N., Kopylov M.V., Frolova L.N., Dragan I.V. Mathematical model of motion of raw material in the channel auger oil press. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologii* [Proceedings of the Voronezh state University of engineering technologies] 2013, no 3 (57). pp. 18–22. (in Russian)

3 Ostrikov A.N., Nenakhov R.V., Vasilenko V.N. Multivariate static analysis of the extrusion process combined potato products, enriched with protein additives. *Vestnik Rossiyskoy akademii selkhozoyaystvennykh nauk* [Herald of the Russian Academy of agricultural Sciences]. 2001, no 4, pp. 13–15. (in Russian)

4 Comminal R. et al. Numerical modeling of the strand deposition flow in extrusion-based additive manufacturing. *Additive Manufacturing*. 2018. vol. 20. pp. 68-76.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Виталий Н. Василенко д.т.н., профессор, кафедры технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, vvn_1977@mail.ru

Лариса Н. Фролова д.т.н., профессор, кафедры технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, fln-84@mail.ru

Анна А. Дерканосова к.т.н., кафедра сервиса и ресторанного бизнеса, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, aa-derk@yandex.ru

Надежда А. Михайлова аспирант, кафедра технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Анастасия А. Щепкина студент, кафедра технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Артем М. Давыдов к.т.н., доцент, кафедра ресторанного бизнеса, Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, Стремянный переулок, 36, Москва, 117997, Россия, Amdavydov@mail.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

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

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 18.07.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 28.08.2018

5 Malone E., Berry M., Lipson H. Freeform fabrication and characterization of Zn-air batteries. *Rapid Prototyping Journal*. 2008. vol. 14. no. 3. pp. 128-140.

6 Sousa L. C. et al. Computational simulation of carotid stenosis and flow dynamics based on patient ultrasound data—A new tool for risk assessment and surgical planning. *Advances in medical sciences*. 2016. vol. 61. no. 1. pp. 32-39.

7 Alekseev G.V., Goncharov M.V., Leu A.G., Krivopustov V.V. Numerical approaches to expansion process modeling. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologii* [Proceedings of the Voronezh state University of engineering technologies]. 2017. no. 79(2). pp. 53-60. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2017-2-53-60> (in Russian)

8 Pal'chikov A.N., Aksenova O.I. Technical means for obtaining intermediate products of the casing and toppings for extruded food products. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologii* [Proceedings of the Voronezh state University of engineering technologies] 2015. no. 2. pp. 35-43. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2015-2-35-43> (in Russian)

9 Verboloz E.I., Loza A.A. Evaluation of the values of the technological parameters of the electro-hydraulic impact on the grain product by numerical methods. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologii* [Proceedings of the Voronezh state University of engineering technologies] 2017. no. 79(2). pp. 68-72. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2017-2-68-72> (in Russian)

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Vitalii N. Vasilenko Dr. Sci. (Engin.), professor, technology of fats, processes and devices of chemical and food productions department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, vvn_1977@mail.ru

Larisa N. Frolova Dr. Sci. (Engin.), professor, technology of fats, processes and devices of chemical and food productions department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, fln-84@mail.ru

Anna A. Derkanosova Cand. Sci. (Engin.), service and restaurant business department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, aa-derk@yandex.ru

Nadezhda A. Mikhailova graduate student, technology of fats, processes and devices of chemical and food productions department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Anastasiya A. Shhepkina student, technology of fats, processes and devices of chemical and food productions department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Artem M. Davydov Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, department for Restaurant Business of the PRUE, Plekhanov Russian University of Economics, Stremyanny Lane, 36, Moscow, 117997, Russia, Amdavydov@mail.ru

CONTRIBUTION

All authors equally took part in writing the manuscript and are responsible for plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 7.18.2018

ACCEPTED 8.28.2018