



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 664.76

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.01.019



ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ГИДРОТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ЗЕРНА СОРГО

Екатерина Сергеевна Серебренникова ¹, Людмила Витальевна Анисимова ²

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение «Федеральный центр оценки безопасности и качества продукции агропромышленного комплекса». Алтайский филиал, Барнаул, Россия

² Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия

¹ silver.775594@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0651-3512>

² anislv@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7900-2935>

Аннотация. Исследовано два способа гидротермической обработки (ГТО) сорго с интенсивным увлажнением зерна. Интенсификацию увлажнения зерна осуществляли в первом способе путем пропаривания, во втором способе – путем увлажнения под вакуумом с последующим отволаживанием. Завершающим этапом в обоих способах ГТО явилась сушка зерна в псевдооживленном слое. Поиск оптимальных режимов ГТО осуществляли с помощью математических методов планирования экспериментов. За основу взяли план полного факторного эксперимента ПФЭ ²³. При обработке первичных данных и оптимизации процесса ГТО, а также при построении математических моделей использовали программы «Stat Soft Statistica 13.3.7.704.19» и «Microsoft Excel». В способе ГТО с пропариванием зерна в качестве изменяемых факторов при поиске оптимальных условий процесса были выбраны: давление насыщенного водяного пара; температура агента сушки; влажность зерна после сушки. Продолжительность пропаривания стабилизировали на уровне 4 мин. В способе ГТО с увлажнением зерна под вакуумом изменяли на двух уровнях следующие факторы: степень разрежения воздуха в рабочей камере установки; температуру агента сушки; влажность зерна после сушки. Зерно сорго увлажняли до влажности (21,0±0,5) %, после увлажнения отволаживали в течение 6 часов. Выходом процесса ГТО зерна сорго послужили показатели: выход шлифованного ядра; коэффициент шелушения; коэффициент цельности ядра, показатель степени измельчения ядра. Программы оптимизации процесса ГТО зерна сорго рассчитаны по методике Бокса-Уилсона с учетом межфакторных взаимодействий. По итогам реализации программ оптимизации и анализа полученных данных определены оптимальные режимы ГТО сорго с пропариванием и ГТО сорго с увлажнением зерна под вакуумом.

Ключевые слова: сорго, гидротермическая обработка зерна, пропаривание зерна, увлажнение зерна под вакуумом, сушка зерна, оптимальные режимы, выход ядра, коэффициент шелушения, коэффициент цельности ядра.

Для цитирования: Серебренникова Е. С., Анисимова Л. В. Определение оптимальных режимов гидротермической обработки зерна сорго // Ползуновский вестник. 2025. № 1, С. 155–160. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.01.019. EDN: <https://elibrary.ru/FNNHQR>.

Original article

DETERMINATION OF OPTIMAL MODES OF HYDROTHERMAL TREATMENT OF SORGHUM GRAIN

Ekaterina S. Serebrennikova ¹, Ludmila V. Anisimova ²

¹ Federal State Budgetary Institution "Federal Center for Assessment of safety and quality of products of the agro-industrial complex". Altai Branch, Barnaul, Russia

² Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia

¹ silver.775594@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0651-3512>

² anislv@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7900-2935>

© Серебренникова Е. С., Анисимова Л. В., 2025

Abstract. Two methods of sorghum hydrothermal treatment (HTT) with intensive grain moistening were studied. Intensification of grain moistening was carried out: in the first method - by steaming, in the second method - by moistening under vacuum with subsequent resting. The final stage in both methods of HTT was drying of grain in a fluidised bed. Search for optimal modes of HTT was carried out with the help of mathematical methods of planning experiments. The plan of the full factor experiment FFE 2³ was taken as a basis. When processing primary data and optimising the HTT process, as well as when building mathematical models, the programs 'Stat Soft Statistica 13.3.7.704.19' and 'Microsoft Excel' were used. In the method of HTT with steaming of sorghum grain as variable factors in the search for optimal conditions of the process were chosen: pressure of saturated water vapour; temperature of the drying agent; moisture of grain after drying. Duration of steaming was stabilised at the level of 4 min. In the method of HTT with moistening of grain under vacuum the following factors were changed at two levels: the degree of air rarefaction in the working chamber of the unit; temperature of the drying agent; moisture of grain after drying. Sorghum grain was moistened up to moisture (21,0±0,5) %, after moistening it was rested for 6 hours. The sorghum grain HTT process outputs were as follows: polished kernel yield; peeling coefficient; kernel integrity coefficient, kernel milling degree index. Programs of sorghum grain HTT process optimisation were calculated according to the Box-Wilson method with consideration of inter-factor interactions. Following the implementation of optimisation programmes and analysis of the obtained data, the optimal regimes of sorghum HTT with steaming and sorghum HTT with grain moistening under vacuum were determined.

Keywords: sorghum, grain hydrothermal treatment, grain steaming, grain moistening under vacuum, grain drying, optimal modes, kernel yield, peeling coefficient, kernel integrity coefficient.

For citation: Serebrenikova, E. S. & Anisimova, L. V. (2025). Determination of optimal modes of hydrothermal treatment of sorghum grain. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 155-160. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2025.01.019. EDN: <https://elibrary.ru/FNNHQR>.

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день агропромышленный комплекс Алтайского края претерпевает значительные изменения, одной из причин которых является повышение среднегодовых температур за последние 30 лет [1]. Кроме того, наличие засушливых районов в юго-западной части края и более 3 млн. га солончаковых и засоленных почв [2] влечет за собой заинтересованность фермерских хозяйств искать наиболее перспективные культуры, способные выживать в этих условиях. Сорго относится к таким культурам.

Одной из отличительных особенностей сорго является его засухоустойчивость и нетребовательность к почвам. Сорго способно останавливать свое развитие во время наступления неблагоприятных условий окружающей среды и продолжать его при улучшении погодных условий, а также сохранять высокую урожайность из года в год [3, 4, 5, 6].

Сорго выращивают во многих странах мира. Возделыванием данной культуры занимается 110 стран. В 2023 году урожайность сорго достигла почти 564 ц/га в Омске, что является максимальной отметкой среди зерновых, зернобобовых и масличных культур мира. В России средняя урожайность сорго составляет около 13 ц/га, по посевным площадям сорго занимает 38 место [7].

Зерно сорго – важный пищевой источник, что подтверждается его химическим составом: содержание белка достигает 21 %, жира – 8 %, золотобразующих веществ – 3 %, клетчатки – около 4 % [8, 9, 10].

Но больше всего в зерне сорго содержится крахмала – до 80 %, его отличительной особенностью является более медленная скорость ферментативного гидролиза в сравнении с другими зерновыми культурами [13]. Белок сорго содержит незаменимые аминокислоты: валин, метионин, аргинин, фенилаланин, изолейцин [11]. Кроме того, сорго является источником витаминов, таких как тиамин (0,38 мг/100 г), ниацин (11,5 мг/100 г), рибофлавин (0,15 мг/100 г) [12].

Таким образом, сорго следует рассматривать как перспективную культуру для возделывания в Алтайском крае. При этом основной проблемой, препятствующей более активному выращиванию зернового сорго, является недостаток информации о путях его реализации в качестве пищевой культуры, а также эффективных технологиях при переработке в крупу и муку.

Одним из известных технологических процессов, позволяющих повысить выход и качество готовой продукции в крупяном производстве, является гидротермическая обработка (ГТО) зерна.

Целью данной работы явился поиск оптимальных режимов ГТО сорго с использованием интенсивного увлажнения зерна путем пропаривания и увлажнения под вакуумом.

МЕТОДЫ И ОБЪЕКТЫ

В работе использовали голозерное красное сорго сорта Орловское. Изучали два способа ГТО сорго. Интенсификацию увлажнения зерна осуществляли: в первом способе – путем пропаривания, во втором способе – путем увлажнения под

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ГИДРОТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ЗЕРНА СОРГО

вакуумом с последующим отволаживанием. Завершающим этапом в обоих способах ГТО явилась сушка зерна в псевдооживленном слое.

После ГТО зерно сорго направляли на операцию шелушения-шлифования в шелушитель типа ЗШН. Продукты шелушения разделяли на наборе сит $\varnothing 1,5/\text{№} 08$. Сходом с верхнего сита получали целое ядро, сходом с нижнего сита – дробленое ядро, проходом через нижнее сито – мучку. Лузгу отвеивали на аспираторе.

Все опыты проводили на лабораторных установках.

Поиск оптимальных режимов ГТО осуществляли с помощью математических методов планирования экспериментов. За основу взяли план полного факторного эксперимента ПФЭ 2^3 .

При обработке первичных данных и оптимизации процесса ГТО, а также при построении математических моделей использовали программы «Stat Soft Statistica 13.3.7.704.19» и «Microsoft Excel».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В связи с тем, что на эффективность про-

цесса ГТО зерна сорго, как и других культур, влияет несколько факторов, для обоих исследуемых способов ГТО были проведены серии однофакторных экспериментов, позволивших выделить наиболее значимые факторы и подобрать уровни стабилизации остальных факторов применительно к зерну сорго.

В способе ГТО с пропариванием зерна сорго в качестве изменяемых факторов при поиске оптимальных условий процесса были выбраны: p – давление насыщенного водяного пара; t_{ac} – температура агента сушки; W_{3c} – влажность зерна после сушки. Продолжительность пропаривания стабилизировали на уровне 4 мин.

В способе ГТО с увлажнением зерна под вакуумом изменяли на двух уровнях следующие факторы: p_e – степень разрежения воздуха в рабочей камере установки; t_{ac} – температуру агента сушки; W_{3c} – влажность зерна после сушки. Зерно сорго увлажняли до влажности $(21,0 \pm 0,5)\%$, после увлажнения отволаживали в течение 6 часов.

Уровни и интервалы варьирования факторов процессов ГТО зерна сорго приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Уровни и интервалы варьирования факторов процессов ГТО зерна сорго

Table 1 – Levels and intervals of variation of the factors of hydrothermal processing of sorghum grain

Фактор	Буквенное обозначение	Уровень фактора			Шаг
		нижний	средний	верхний	
Пропаривание					
Давление насыщенного водяного пара, p , МПа	x_1	0,05	0,15	0,25	0,10
Температура агента сушки t_{ac} , °С	x_2	80	110	140	30
Влажность зерна после сушки W_{3c} , %	x_3	12,5	14,5	16,5	2
Увлажнение под вакуумом					
Степень разрежения воздуха p_e , МПа	x_1	-0,03	-0,05	-0,07	0,02
Температура агента сушки t_{ac} , °С	x_2	90	110	130	20
Влажность зерна после сушки W_{3c} , %	x_3	13,5	15,0	16,5	1,5

Выходом процесса ГТО зерна сорго с пропариванием послужили показатели: выход шлифованного ядра B – y_1 , %; коэффициент шелушения $Kш$ – y_2 , %; коэффициент цельности ядра $Kця$ – y_3 , %. Выход процесса ГТО зерна сорго с увлажнением под вакуумом оценивали по выходу шлифованного ядра B – y_1 , %; показателю степени измельчения (ПСИ)

ядра – y_2 , %; коэффициенту цельности ядра $Kця$ – y_3 , %.

В результате реализации планов экспериментов, а также статистической обработки полученных данных с использованием критериев Стьюдента и Фишера были предложены математические модели для двух способов ГТО зерна сорго в виде уравнений регрессии, адекватно описывающих процесс (таблица 2).

Таблица 2 – Уравнения регрессии, показывающие зависимость выхода процесса от параметров ГТО зерна сорго

Table 2 – Regression equations showing the dependence of the process output on the parameters of hydrothermal treatment of sorghum grain

Показатель	Уравнения регрессии (пропаривание)
1	2
Выход шлифованного ядра, %	$y_1 = 90,45 + 0,26 \cdot x_1 + 0,58 \cdot x_2 + 1,15 \cdot x_3 - 0,26 \cdot x_2 x_3 - 0,79 \cdot x_1 x_2 x_3$
Коэффициент шелушения, %	$y_2 = 98,87 + 0,33 \cdot x_1 + 0,16 \cdot x_2 - 0,37 \cdot x_3 - 0,16 \cdot x_1 x_2 x_3$
Коэффициент цельности ядра, %	$y_3 = 96,53 - 0,23 \cdot x_2 + 0,30 \cdot x_3 - 0,22 \cdot x_1 x_2 - 0,20 \cdot x_1 x_3$

Продолжение таблицы 2 / Continuation of table 2

1	2
	Уравнения регрессии (увлажнение под вакуумом)
Выход шлифованного ядра, %	$y_1 = 86,38 - 0,29 \cdot x_1 + 0,35 \cdot x_2 + 0,34 \cdot x_3 + 0,31 \cdot x_1x_2 - 0,27 \cdot x_2x_3 - 0,26 \cdot x_1x_3 + 0,62 \cdot x_1x_2x_3$
Показатель степени измельчения ядра, %	$y_2 = 46,40 - 0,37 \cdot x_1 - 4,29 \cdot x_3 + 0,72 \cdot x_1x_2 - 1,10 \cdot x_2x_3 - 0,96 \cdot x_1x_3 - 1,69 \cdot x_1x_2x_3$
Коэффициент цельности ядра, %	$y_3 = 90,83 + 0,53 \cdot x_2 + 1,48 \cdot x_3 - 0,61 \cdot x_1x_2 + 0,49 \cdot x_1x_2x_3$

Из представленных уравнений регрессии следует, что повышение давления насыщенного водяного пара ведет к увеличению выхода шлифованного ядра сорго, а также повышению коэффициента шелушения. Выход шлифованного ядра и коэффициент шелушения зерна сорго возрастают с увеличением температуры агента сушки. Повышение влажности зерна сорго после сушки влечет увеличение выхода шлифованного ядра сорго и коэффициента цельности ядра, но снижает коэффициент его шелушения.

При ГТО сорго с увлажнением зерна под вакуумом увеличение глубины вакуума в рабочей камере вакуумной установки ведет к снижению выхода шлифованного ядра сорго, а на коэффициент цельности ядра влияет только через межфакторные взаимодействия. Выход шлифованного ядра и коэффициент цельности ядра возрастают с увеличением температуры агента сушки, а также влажности зерна после сушки. Показатель же степени измельчения ядра, характеризующий его прочностные свойства при динамическом нагружении [14], с увеличением влажности зерна после сушки снижается, что вполне закономерно. Дело в том, что чем ниже ПСИ ядра, тем оно прочнее. Соответственно тем выше коэффициент цельности ядра.

Наглядно зависимость основного показателя выхода процесса ГТО зерна сорго – выхода шлифованного ядра – от давления насыщенного водяного пара p и влажности зерна после сушки $W_{зс}$ для способа ГТО с пропариванием зерна и от степени разрежения воздуха в рабочей камере p_e и влажности зерна после сушки $W_{зс}$ для способа ГТО с увлажнением зерна под вакуумом представлена на рисунках 1 и 2 соответственно. Температура агента сушки при построении обоих графиков была принята равной 110 °С.

На основе уравнений регрессии для выхода шлифованного ядра для обоих исследованных способов ГТО зерна сорго по методике Бокса-Уилсона с учетом межфакторных взаимодействий [15] рассчитали программы оптимизации (таблица 3).

В связи с тем, что влажность зерна сорго после сушки в третьем опыте для обоих способов ГТО составляет 16,3 и 16,0 %, третий шаг программы оптимизации делать нецелесообразно, поскольку в таком случае значение влажности зерна после сушки выйдет за пределы допустимого технологического уровня.

Рисунок 1 – Влияние параметров ГТО сорго (пропаривание) на выход шлифованного ядра

Figure 1 – Influence of the parameters of hydrothermal sorghum treatment (steaming) on the yield of the polished kernel

Рисунок 2 – Влияние параметров ГТО сорго (увлажнение зерна под вакуумом) на выход шлифованного ядра

Figure 2 – Influence of the parameters of hydrothermal sorghum treatment (grain moistening under vacuum) on the yield of polished kernel

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ГИДРОТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ЗЕРНА СОРГО

Результаты реализации программ оптимизации для способа ГТО зерна сорго с пропариванием

и способа ГТО зерна сорго с увлажнением под вакуумом приведены в таблице 4.

Таблица 3 – Программы оптимизации ГТО зерна сорго

Table 3 – Programs for optimizing hydrothermal treatment of sorghum grain

Опыт	Фактор		
	ГТО зерна сорго с пропариванием		
	давление насыщенного водяного пара p , МПа	температура агента сушки t_{ac} , °С	влажность зерна после сушки $W_{зс}$, %
0	0,15	110	14,5
I	0,16	116	15,3
II	0,17	122	16,3
	ГТО сорго с увлажнением зерна под вакуумом		
	степень разрежения воздуха p_e , МПа	температура агента сушки t_{ac} , °С	влажность зерна после сушки $W_{зс}$, %
	0	-0,050	110
I	-0,046	115	15,4
II	-0,040	120	16,0

Таблица 4 – Результаты реализации программ оптимизации гидротермической обработки зерна сорго

Table 4 – Results of programs for optimizing the process of hydrothermal treatment of sorghum grain

ГТО зерна сорго с пропариванием				
Номер опыта	Условия опыта	Выход шлифованного ядра B , %	Коэффициент шелушения зерна $Kш$, %	Коэффициент цельности ядра $Kця$, %
1	$p=0,15$ МПа $t_{ac}=110$ °С $W_{зс} = 14,5$ %	92,0	99,3	96,2
2	$p=0,16$ МПа $t_{ac}=116$ °С $W_{зс} = 15,3$ %	93,3	99,5	96,8
3	$p=0,17$ МПа $t_{ac}=122$ °С $W_{зс} = 16,3$ %	93,5	99,4	97,2
ГТО зерна сорго с увлажнением под вакуумом				
1	$p_e = -0,050$ МПа $t_{ac}=110$ °С $W_{зс} = 15,0$ %	87,2	99,7	91,9
2	$p_e = -0,047$ МПа $t_{ac}=115$ °С $W_{зс} = 15,4$ %	91,2	99,8	92,4
3	$p_e = -0,040$ МПа $t_{ac}=120$ °С $W_{зс} = 16,0$ %	86,4	99,7	92,1

По итогам реализации программ оптимизации и анализа полученных данных оптимальными значениями варьируемых параметров гидротермической обработки зерна сорго с пропариванием были выбраны: давление насыщенного водяного пара – 0,16–0,17 МПа; температура агента сушки – 116–122 °С; влажность зерна сорго после сушки – 15,3–16,3 %. При этом продолжительность пропаривания составила 4 мин. В способе гидротермической обработки сорго с увлажнением зерна под вакуумом были подобраны следующие оптималь-

ные режимы: степень разрежения воздуха в рабочей камере установки – -0,047 МПа; температура агента сушки – 115 °С; влажность зерна сорго после сушки – 15,4 %. При этом влажность зерна сорго после увлажнения составила $21,0 \pm 0,5$ %; длительность отволаживания зерна – 6 часов.

ВЫВОДЫ

Сорго является перспективной культурой для выращивания и реализации в Алтайском крае. В результате малой распространенности сорго в

качестве пищевой культуры в России существует необходимость разработки технологии переработки сорго в продукты питания и подбор технологических параметров процессов его переработки, частью которых являются оптимальные режимы гидротермической обработки.

Таким образом, в результате проведенных исследований, а также с учетом результатов одnofакторных экспериментов были выбраны оптимальные режимы ГТО сорго с пропариванием и ГТО сорго с увлажнением зерна под вакуумом. В первом способе ГТО: давление насыщенного водяного пара – 0,16–0,17 МПа; длительность пропаривания – 4 мин; температура агента сушки – 115–120 °С; влажность зерна сорго после сушки – 15,5±0,5 %. Во втором способе ГТО: степень разрежения воздуха в рабочей камере установки – (-0,045)–(-0,050) МПа (остаточное давление воздуха 0,050–0,055 МПа); влажность зерна после увлажнения – 21,0±0,5 %; длительность отволаживания зерна – 6 часов; температура агента сушки – 110–120 °С; влажность зерна после сушки – 15,0–15,5 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Погода и климат // www.pogodaiklimat.ru. Электрон. текст. дан. Режим доступа: http://www.pogodaiklimat.ru/history/44277_3.htm. Загл. с экрана.
2. Шукис Е.Р. Потенциал возделывания сорговых культур в Алтайском крае / Е.Р. Шукис, А.Б. Володин, С.И. Капустин // Сельскохозяйственный журнал. 2018. С. 32–37.
3. Горпиниченко С.И. Результаты селекции суданской травы / С.И. Горпиниченко, Г.М. Ермолина, П.И. Ляшов // Достижения, направления развития сельскохозяйственной науки России. Всероссийский научно-исследовательский институт зерновых культур им. И.Г. Калиненко ВНИИЗК-75 лет. Ростов-на-Дону, 2005. С. 248–251.
4. Метлина Г.В. Агроэнергетическая эффективность возделывания новых сортов и гибридов сорго сахарного / Г.В. Метлина, С.И. Горпиниченко, Н.А. Ковтунова, С.А. Васильченко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. № 114. 2015. С. 288–297.
5. Раева С.А. Производство зернового сорго в Ростовской области / С.А. Раева // Кукуруза и сорго. № 6. 2005. С. 12–14.
6. Алабушев А.В. Оценка новых сортов сорго зернового при использовании в хлебопечении / А.В. Алабушев, В.В. Ковтунов, Н.С. Кравченко, О.А. Лушпина, Н.Г. Игнать-

ева // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. № 3(54). 2017. С. 144–150.

7. FAOSTAT // Food and Agriculture Organization of the United Nations. Электрон. текст. дан. Режим доступа : <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. Загл. с экрана.

8. Ковтунов В.В. Основные направления использования сорго зернового / В.В. Ковтунов, С.И. Горпиниченко // Зерновое хозяйство России. 2011. № 6. С. 28–32.

9. Казаков Е.Д. Зерновое хозяйство с основами растениеводства / Е.Д. Казаков. М. : Колос, 1973. 288 с.

10. Ratnavathi C.V. Sorghum biochemistry: an industrial perspective / C.V. Ratnavathi, J.V. Patil, U.D. Chavan. Academic Press, 2016. 61 p.

11. Алабушев А.В. Технологические приемы возделывания и использования сорго / А.В. Алабушев. Ростов-на-Дону : ЗАО «Книга», 2007. 224 с.

12. Widowati S. Karakteristik Mutu Gizi Dan Diversifikasi Pangan Berbasis Sorgum (*Sorghum vulgare*) / S. Widowati // PANGAN. 2010. Vol. 19 (4). P. 373–382.

13. Collar C. Significance of heat-moisture treatment conditions on the pasting and gelling behaviour of various starch-rich cereal and pseudocereal flours / C. Collar // Food Science and Technology International. 2017. № 23 (7). P. 623–636.

14. Мартыянова А.И. Оценка технологических свойств товарных партий пшеницы / А.И. Мартыянова, Б.Е. Кравцова, Т.В. Васюсина, Г.Е. Гришина. Москва : Агропромиздат, 1986. 152 с.

15. Грачев Ю.П. Математические методы планирования экспериментов / Ю.П. Грачев, Ю.М. Плаксин. Москва : ДеЛи принт, 2005. 296 с.

Информация об авторах

Е. С. Серебренникова – главный специалист испытательной лаборатории Алтайского филиала ФГБУ «ЦОК АПК».

Л. В. Анисимова – к.т.н., доцент, доцент кафедры ТХПЗ ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова.

Information about the authors

E.S. Serebrennikova - Chief Specialist of the testing laboratory of the Altai branch of the Federal State Budgetary Institution "Federal Center for Assessment of safety and quality of products of the agro-industrial complex".

L.V. Anisimova - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of THPZ of the Polzunov Altai State Technical University.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 02 мая 2024; одобрена после рецензирования 28 февраля 2025; принята к публикации 05 марта 2025.

The article was received by the editorial board on 02 May 2024; approved after editing on 28 Feb 2025; accepted for publication on 05 Mar 2025.