

## Повышение эффективности сушки семян в реверсивной зерносушилке

**Михаил Геннадьевич Загоруйко<sup>1</sup>**,  
кандидат технических наук, доцент,  
старший научный сотрудник,  
e-mail: zagorujko.misha2013@yandex.ru;

**Сергей Анатольевич Павлов<sup>1</sup>**,  
кандидат технических наук, ведущий научный  
сотрудник, e-mail: sapavlov777@mail.ru;

**Игорь Андреевич Башмаков<sup>2</sup>**,  
кандидат технических наук,  
старший преподаватель,  
e-mail: bashmakov@rgau-msha.ru

<sup>1</sup>Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация;

<sup>2</sup>Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Российская Федерация

**Реферат.** Проанализировали, что реверсивная сушка широко используется в деревообрабатывающей промышленности, при сушке початков кукурузы, но для сушки семян трав и зерновых почти не применяется, что можно объяснить малоизученностью этого принципа. Отметим, что работу реверсивной сушилки характеризуют длительность односторонней продувки и допустимая температура агента сушки. Выявили, что повышение температуры агента сушки актуально для сушилок, предназначенных для обработки мелкосеменных культур, так как они работают на пониженных значениях температуры по сравнению с оборудованием для зерновых. (*Цель исследования*) Определить эффективность реверсивной зерносушилки, заключающуюся в снижении удельных затрат и повышении производительности, а также длительности односторонней продувки и допустимой температуры агента сушки. (*Материалы и методы*) Определили основные параметры, характеризующие работу реверсивной зерносушилки: длительность и допустимую температуру нагрева зерна при реверсивной сушке, а также показатели режима односторонней продувки и допустимую температуру агента сушки. Выявили, что интенсификация процесса реверсивной сушки достигается повышенной температурой агента сушки по сравнению с сушкой при односторонней продувке вследствие более высокой допустимой температуры нагрева семян. (*Результаты и обсуждение*) В ходе хозяйственной проверки установили увеличение производительности и снижение удельных затрат теплоты при неравномерности сушки семян ниже нормативной. Подчеркнули, что повышение предельно допустимой температуры зерна примерно на 2 градуса Цельсия соответствует росту температуры агента сушки на 4-6 градусов и производительности сушилки на 10-12 процентов. (*Выводы*) Доказали эффективность реверсивной сушилки в сравнении с традиционной, заключающуюся в повышении производительности на 13 процентов и снижении удельных затрат теплоты на 10 процентов, при неравномерности сушки семян ниже нормативной. Установили, что длительность односторонней продувки в реверсивной зерносушилке составила 0,3 часа. Определили, что предельная температура агента сушки при реверсе рассчитывается исходя из допустимой температуры семян, которая должна быть на 2-3 градуса выше предельно допустимой по сравнению с традиционной сушкой. По результатам исследования она составила 57 градусов Цельсия для семян райграса.

**Ключевые слова:** интенсивная сушка семян, реверсивная зерносушилка, предельно допустимая температура сушки семян, агент сушки, качество семян, мелкосеменные культуры.

■ **Для цитирования:** Загоруйко М.Г., Павлов С.А., Башмаков И.А. Повышение эффективности сушки семян в реверсивной зерносушилке // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023. Т. 17. №1. С. 76-80. DOI 10.22314/2073-7599-2023-17-1-76-80. EDN VQIIQU.

## Improving the Efficiency of Seed Drying in a Reversible Grain Dryer

**Mikhail G. Zagoruyko<sup>1</sup>**,  
Ph.D.(Eng.), associate professor, senior researcher,  
e-mail: zagorujko.misha2013@yandex.ru;

**Sergey A. Pavlov<sup>1</sup>**,  
Ph.D.(Eng.), leading researcher,  
e-mail: sapavlov777@mail.ru;

**Igor A. Bashmakov<sup>2</sup>**,  
Ph.D.(Eng.), senior lecturer,  
e-mail: bashmakov@rgau-msha.ru

<sup>1</sup>Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation;

<sup>2</sup>Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

**Abstract.** Reverse drying is acknowledged to be widely used in the woodworking industry, and in corn cob drying, but it is hardly used for drying grass and cereal seeds. It can be explained by insufficient research into the matter. It is noted that the reversible dryer operation is characterized by the duration of one-direction blowing and the permissible temperature of the drying agent. It has been found that a temperature increase in the drying agent is crucial for dryers designed for processing small-seed crops, since they operate at lower temperatures compared to those designed for cereals. (*Research purpose*) To determine the effectiveness of a reversible grain dryer that lies in reduced unit costs and increased productivity, as well as the duration of blowing in one direction and the drying agent allowable temperature. (*Materials and methods*) The main parameters characterizing the operation of a reverse grain dryer have been determined as follows: the duration and permissible temperature of grain heating, the indicators of the one-direction blowing mode and the permissible temperature of the drying agent. It has been found that the intensification of the reverse drying process can be achieved by an increase in the drying agent temperature compared to drying in the one-direction blowing mode, possible due to a higher permissible temperature of seed heating. (*Results and discussion*) The economic testing of a reversible dryer proved its efficiency in terms of an increase in productivity, a decrease in the specific heat consumption as well as the seed drying non-uniformity below the norm. It is emphasized that an increase in the maximum permissible grain temperature by about 2 degrees Celsius corresponds to a 4-6-degree rise in the drying agent temperature and a 10-12 percent increase in the dryer productivity. (*Conclusions*) A reverse dryer is proved to be more efficient compared to a traditional one that lies in a 13-percent increase in productivity and a 10-percent decrease in the specific heat consumption, as well as the seed drying non-uniformity below the norm. It has been found that the duration of one-direction blowing mode in a reversible grain dryer was 0.3 hours. It has been determined that compared to the traditional drying, the maximum temperature of the drying agent in the reverse-mode drying is calculated based on the seed permissible temperature, that is to be 2-3 degrees higher than the maximum permissible one. According to the findings, it is 57 degrees Celsius for ryegrass seeds.

**Keywords:** intensive seed drying, reversible grain dryer, maximum allowable temperature of seed drying, drying agent, seed quality, small seed crops.

**■ For citation:** Zagoruyko M.G., Pavlov S.A., Bashmakov I.A. Povyshenie effektivnosti sushki semyan v reversivnoy zernosushilke [Improving the efficiency of seed drying in a reversible grain dryer]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2023. Vol. 17. N1. 76-80 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2023-17-1-76-80. EDN VQIIQU.

**Р**еверсивная сушка позволяет обеспечить качественную подготовку семян и повысить энергоэффективность процесса. Ее широко применяют в деревообрабатывающей промышленности, при сушке початков кукурузы [1, 2]. Однако для сушки семян зерновых и трав эту технологию почти не используют, что можно объяснить ее малоизученностью [3-5].

Основные параметры, характеризующие работу реверсивной сушилки: длительность односторонней продувки и допустимая температура агента сушки. Повышение температуры агента сушки актуально для сушилок, предназначенных для обработки мелкосеменных культур, так как в этом случае необходимо выдержать пониженную температуру по сравнению с зерновыми [6].

**Цель исследования** – определить эффективность реверсивной зерносушилки, заключающуюся в снижении удельных затрат и повышении производительности, а также длительности односторонней продувки и допустимой температуры агента сушки.

**Материалы и методы.** Сушка мелких семян при односторонней продувке характеризуется повышенной неравномерностью по влажности, так как материал высушивается послойно. Но если ограничить

длительность односторонней продувки  $\tau_p$  величиной допустимого влагосъема  $\Delta W_i$ , который соответствует величине неравномерности сушки  $\delta/2$  (согласно исходным требованиям для рядовых семян,  $\delta \leq \pm 1,5\%$ , элитных –  $\delta \leq \pm 1\%$ ), то в конце процесса будет выдержана заданная величина  $\delta$  [7, 8].

Длительность односторонней продувки слоя семян  $\tau_p$  при реверсе агента сушки определяли по формуле [8]:

$$\tau_p = \frac{\Delta U_i r H}{2 \alpha f (t - \theta_{cp}) h_i \eta}, \quad (1)$$

где  $\tau_p$  – длительность односторонней продувки, ч;  
 $\Delta U_i$  – влагосъем при односторонней продувке, кг вл./кг сух. мат.;

$r$  – удельная теплота испарения влаги, кДж/кг;

$H, h_i$  – высота слоя и высота элементарного слоя, м;

$h_i = 2...3d_s$ , где  $d_s$  – эквивалентный диаметр зерновки, м;

$\alpha$  – коэффициент теплоотдачи, Вт/м<sup>2</sup>·°C;

$f$  – удельная поверхность семян, м<sup>2</sup>/кг;

$t, \theta_{cp}$  – температура агента сушки и средняя семян, °C;

$\eta$  – доля теплоты, пошедшая на испарение влаги.

Общая длительность реверсивной сушки составит:

$$\tau_c = \tau_p n, \quad (2)$$

где  $\tau_c$  – длительность сушки, ч;

$\tau_p$  – длительность односторонней продувки, ч;

$n$  – число односторонних продувок.

Интенсификация процесса реверсивной сушки, в частности, достигается повышенной температурой агента сушки по сравнению с сушкой при односторонней продувке. Это явление объясняется более высокой допустимой температурой нагрева семян [9-12].

Допустимая температура нагрева зерна при реверсивной сушке составит:

$$\theta_d = \theta_{\text{пд}} + \Delta\theta, \quad (3)$$

где  $\theta_d$  – допустимая температура нагрева зерна, °С;

$\theta_{\text{пд}}$  – предельно допустимая температура нагрева зерна, °С;

$\Delta\theta$  – приращение температуры при реверсивном режиме сушки.

Величина  $\theta_{\text{пд}}$  зависит в том числе от длительности сушки, которая учитывается в известной формуле С.Д. Птицина:

$$\theta_{\text{пд}} = 2350 / [0,37(100 - W_n) + W_n] + 20 - 10 \log \tau, \quad (4)$$

где  $W_n$  – начальная влажность материала, %;

$\tau$  – время сушки, мин.

Поскольку зерно подвергается воздействию только половину времени сушки плюс длительность односторонней продувки, можно записать [13-15]:

$$\Delta\theta = 10 \left[ \log \tau_c - \log \left( \frac{\tau_c}{2} + \tau_p \right) \right], \quad (5)$$

Предельная температура агента сушки, °С, определена из уравнения:

$$t_n = \kappa \cdot \theta_d, \quad (6)$$

где  $\kappa$  – безразмерный коэффициент для колонковых сушилок,  $\kappa = 1,25-1,30$ .

**РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ.** Работу сушилки изучили на семенах райграсса. Продолжительность односторонней продувки  $\tau_p$  при сушке семян определяли при исходной влажности 14-24% с допустимой неравномерностью высушенных семян  $\delta = \pm 1,5\%$ , а также при  $\alpha = 23 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°С}$ ;  $f = 2,2 \text{ м}^2/\text{кг}$ ;  $t = 55 \text{ °С}$ ;  $\theta_{\text{ср}} = 31 \text{ °С}$ ;  $r = 2700 \text{ кДж/кг}$ ;  $H = 0,25 \text{ м}$ ;  $h_i = 0,005 \text{ м}$ ;  $\eta = 0,85$ ;  $U_i = 0,02 \text{ кг вл./кг сух. мат.}$ . После подстановки этих величин в (1) получили  $\tau_p = 0,36 \text{ ч}$ .

При  $U_n = 0,315 \text{ кг вл./кг сух. мат.}$ ;  $U_k = 0,163 \text{ кг вл./кг сух. мат.}$ ;  $\theta_{\text{пд}} = 42 \text{ °С}$ ;  $n = 8$ ; длительность сушки  $\tau_c \approx 3 \text{ ч}$ , а допустимое приращение температуры зерна  $\Delta\theta = 2,2 \text{ °С}$ ;  $\theta_d = 42 + 2,2 \approx 44 \text{ °С}$ , при предельной температуре агента сушки  $t_n = 1,3\theta_d = 57 \text{ °С}$ .

Повышение  $\theta_{\text{пд}}$  на  $\sim 2 \text{ °С}$  соответствует росту температуры агента сушки на  $\sim 4-6 \text{ °С}$  и производительности сушилки на 10-12%.

Хозяйственную проверку способа сушки с реверсом теплоносителя проводили на модернизированной колонковой сушилке СЗТМ-5 (рисунок).

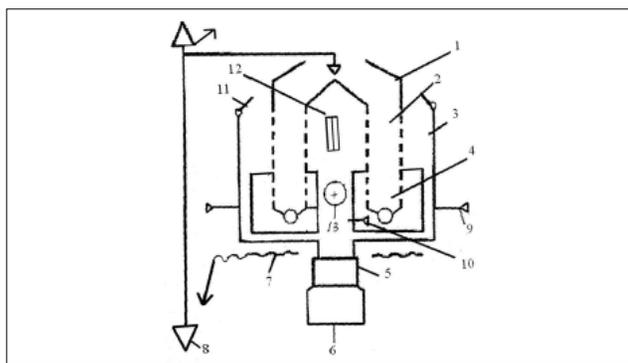


Рис. 1. Технологическая схема сушилки СЗТМ-5: 1 – бункер; 2 – сушильная камера; 3 – воздушная камера; 4 – охлаждающая камера; 5 – вентилятор; 6 – топка; 7 – транспортер; 8 – норрия; 9-12 – электрозадвижки; 13 – вентилятор охлаждающей камеры

Fig. 1. SZTM-5 dryer process scheme: 1 – hopper; 2 – drying chamber; 3 – air chamber; 4 – cooling chamber; 5 – fan; 6 – furnace; 7 – conveyor; 8 – norria; 9, 10, 11, 12 – electric gate valves; 13 – fan of the cooling chamber

Норрией загружают влажный материал в бункер, заполняют сушильную и охлаждающую камеры. Включают топку и в течение 10-15 мин прогревают семена. Затем циклично высушивают семена, то есть циркулируют материал через корпус сушилки и норрию. При этом подогретый в топке воздух вентилятором нагнетают в центральный коллектор, откуда он поступает в слой семян и удаляется из сушилки в атмосферу через воздушные камеры.

Реверсирование агента сушки осуществляли переключением электрозадвижек. Подогретый воздух поочередно направляли с обеих сторон слоя материала в сушилке.

Методика исследований предусматривала сушку семян райграсса с реверсом агента сушки и без него (таблица). Без реверса температуру агента сушки поддерживали  $50 \text{ °С}$ , с реверсом –  $56 \text{ °С}$ , скорость подачи теплоагента составила  $0,35 \text{ м/с}$ .

При хозяйственной проверке влагосъем для односторонней продувки при реверсивной сушке семян равен  $\Delta U_i \leq 0,018 \text{ кг вл./кг сух. мат.}$ , что соответствовало нормативной неравномерности высушенных семян.

Допустимую температуру семян поддерживали равной сумме предельно допустимого показателя и приращения  $\Delta\theta = 2 \text{ °С}$ .

**Выводы.** В результате хозяйственной проверки реверсивной сушилки на семенах райграсса подтвердили ее эффективность: производительность повысилась на 13%, удельные затраты теплоты сократились на 10% в сравнении с сушкой без реверса, при неравномерности сушки семян ниже нормативной. Длительность односторонней продувки в реверсивной зерносушилке по результатам исследований составила 0,3 ч. Предельная температура агента сушки при реверсе рассчитывается исходя из допустимой

Таблица			Table		
ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ СЗТМ-5 / KEY PERFORMANCE INDICATORS OF SZTM-5					
Показатели / Indicators	Значение / Values				
	с реверсом / reverse drying	без реверса / one-direction drying			
Производительность, т/ч / productivity, t/h: влажный материал / wet material сухой материал / dry material плановая / planned	4,2	3,7			
	3,5	–			
	3,8	4,1			
Длительность сушки, ч / drying time, h: расчетная / estimated фактическая / actual	3,5	–			
	3,8	4,3			
Длительность односторонней продувки, ч One-sided blowing duration, h	0,3	–			
Влажность семян, % / seed moisture, % исходная / initial moisture конечная / final moisture	22	22			
	12,8	13			
Удельный расход тепла на сушку, МДж/кг Specific heat consumption for drying, MJ/kg	9,6	10,6			
Неравномерность сушки (предельное отклонение от среднего), ±% Drying non-uniformity (marginal deviation from the mean), ±%	+0,6	+2			
	–0,5	–1,5			
Всхожесть семян, % / seed germination, %: до сушки / before drying после сушки / after drying	80	72			
	82	75			
Снижение длительности сушки, % / Decrease in drying time, %	12	–			
Снижение удельных затрат топлива, % Reduction of specific fuel costs, %	10	–			

температуры семян, которая должна быть на 2-3°C выше предельно допустимой по сравнению с тради-

ционной сушкой. По результатам исследования она составила 57°C для семян райграсса.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Серговский П.С. Режимы и проведение камерной сушки пилломатериалов. М.: Лесная промышленность. 1976. 135 с.
- Теленгатор М.А., Уколов В.С., Цецинский В.М. Обработка семян зерновых культур. М.: Колос. 1972. 270 с.
- Шаршунов В.А., Рукшан Л.В. Сушка и хранение зерна. Минск: Мисанта. 2010. 588 с.
- Дорохов А.С. Эффективность оценки качества сельскохозяйственной техники и запасных частей // *Вестник ФГБОУ ВПО «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина»*. 2015. N1(65). С. 31-35.
- Drincha V.M., Tsench Yu.S. Fundamentals and prospects for the technologies development for post-harvest grain processing and seed preparation. *Agricultural machinery and technologies*. 2020. Vol. 14. N4. 17-25.
- Загоруйко М.Г., Бельшикина М.Е., Марин Р.А., Башмаков И.А. Обоснование математических моделей переменного теплоподвода при сушке зерна // *Аграрный научный журнал*. 2021. N11. С. 87-92.
- Агеев П.С., Сутягин С.А., Курдюмов В.И., Павлушин А.А. Особенности реализации температурного режима в установке контактного типа при сушке мелкосеменных культур // *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2021. N2 (54). С. 6-12.
- Zhang, J., Zhao, Z. Heat and mass transfer characteristics and model of rapeseed (*Bassica rapus*) fluidized-bed drying with constant drying rate. *Nongye Gongcheng Xuebao. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*. 2017. N33(13). 287-295.
- Лобачевский Я.П., Пехальский И.А., Павлов С.А. Расчет изотермической сушки зерна // *Сельский механизатор*. 2019. N8. С. 22-23.
- Хусаинов Р.Н. Интенсификация технологического процесса кондуктивной сушки дисперсных материалов // *Вестник технологического университета*. 2017. N8. С. 124-125.
- Хабибов Ф.Ю., Джураев Х.Ф., Абдурахманов О.Р. Интенсификация процесса сушки сельхозпродуктов комбинированным методом подвода энергии // *Пищевая промышленность*. 2013. N7. С. 24-25.
- Wang P., Li D., Wang L.-J., Adhikari B. Effect of High Temperature Intermittent Drying on Rice Seed Viability and Vigor. *International Journal of Food Engineering*. 2017. N13(10). 20160433.
- Павлов С.А., Фролова Т.Ф. Исследования сушки зерна в автоматизированном зерносушильном агрегате // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т. 12. N4. С. 29-34.
- Павлов С.А., Левина Н.С., Лукин И.Д. Исследование сушки селекционных семян в плотном слое // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т. 12. N1. С. 22-26.
- Zhifeng X., Fan Z., Lei X., Jianhong W., Nanxing W. Numerical Simulation on Superheated Steam Fluidized Bed Drying at Different Operating Pressures. *International Journal of Food Engineering*. 2017. N13(10). 20170093.

## REFERENCES

1. Sergovskiy P.S. Rezhimy i provedenie kamernoy sushki pilomaterialov [Modes and performing lumber drying in chamber]. Moscow: Lesnaya promyshlennost'. 1976. 135 (In Russian).
2. Telengator M.A., Ukolov V.S., Tsetsinovskiy V.M. Obrabotka semyan zernovykh kul'tur [Grain seed processing]. Moscow: Kolos. 1972. 270 (In Russian).
3. Sharshunov V.A., Rukshan L.V. Sushka i khranenie zerna [Grain drying and storage]. Minsk: Misanta. 2010. 588 (In Russian).
4. Dorokhov A.S. Effektivnost' otsenki kachestva sel'skokhozyaystvennoy tekhniki i zapasnykh chastey [The effectiveness of assessing the quality of agricultural machinery and spare parts]. *Vestnik FGBOU VPO «Moskovskiy gosudarstvennyy agroinzhenernyy universitet imeni V.P. Goryachkina»*. 2015. N1(65). 31-35 (In Russian).
5. Drincha V.M., Tsench Yu.S. Fundamentals and prospects for the technologies development for post-harvest grain processing and seed preparation. *Agricultural machinery and technologies*. 2020. Vol. 14. N4. 17-25 (In English).
6. Zagoruyko M.G., Belyshkina M.E., Marin R.A., Bashmakov I.A. Obosnovanie matematicheskikh modeley peremennogo teplopodvoda pri sushke zerna [Justification of mathematical models of variable heat supply during grain drying]. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal*. 2021. N11. 87-92 (In Russian).
7. Ageev P.S., Sutyagin S.A., Kurdyumov V.I., Pavlushin A.A. Osobennosti realizatsii temperaturnogo rezhima v ustanovke kontaktnogo tipa pri sushke melkosemennykh kul'tur [Features of temperature regime in a contact type unit when drying small seed crops]. *Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*. 2021. N2(54). 6-12 (In Russian).
8. Zhang J., Zhao Z. Heat and mass transfer characteristics and model of rapeseed (*Bassica rapus*) fluidized-bed drying with constant drying rate. *Nongye Gongcheng Xuebao. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*. 2017. N33(13). 287-295 (In English).
9. Lobachevskiy Ya.P., Pekhal'skiy I.A., Pavlov S.A. Raschet izotermicheskoy sushki zerna [Calculation of isothermal drying of grain]. *Sel'skiy mekhanizator*. 2019. N8. 22-23 (In Russian).
10. Khusainov R.N. Intensifikatsiya tekhnologicheskogo protsessa konduktivnoy sushki dispersnykh materialov [Intensification of the technological process for dispersed material conductive drying]. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta*. 2017. N8. 124-125 (In Russian).
11. Khabibov F.Yu., Dzhuraev H.F., Abdurakhmanov O.R. Intensifikatsiya protsessa sushki sel'khozproduktov kombinirovannym metodom podvoda energii [Intensifying the process of drying agricultural products by the combined method of energy supply] *Pishchevaya promyshlennost'*. 2013. N7. 24-25 (In Russian).
12. Wang P., Li D., Wang L.-J., Adhikari B. Effect of High Temperature Intermittent Drying on Rice Seed Viability and Vigor. *International Journal of Food Engineering*. 2017. N13(10). 20160433 (In English).
13. Pavlov S.A., Frolova T.F. Issledovaniya sushki zerna v avtomatizirovannom zernosushil'nom agregate [Study of grain drying in the automated grain drying unit]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2018. Vol. 12. N4. 29-34 (In Russian).
14. Pavlov S.A., Levina N.S., Lukin I.D. Issledovanie sushki selektsionnykh semyan v plotnom sloe [Research of selection seeds drying in dense layer]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2018. Vol. 12. N1. 22-26 (In Russian).
15. Zhifeng X., Fan Z., Lei X., Jianhong W., Nanxing W. Numerical Simulation on Superheated Steam Fluidized Bed Drying at Different Operating Pressures. *International Journal of Food Engineering*. 2017. N13(10). 20170093 (In English).

**Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Заявленный вклад соавторов:**

Загоруйко М.Г. – участие в обсуждении материалов статьи, анализ и дополнение текста; Павлов С.А. – научное руководство, подготовка начального варианта статьи;

Павлов С.А. – научное руководство, подготовка начального варианта статьи;

Башмаков И.А. – компьютерные работы, обработка результатов исследований, доработка текста, формулирование общих выводов и литературный анализ.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

**Conflict of interest**

The authors declare no conflict of interest.

**Coauthors' contribution:**

Zagoruyko M.G. – paper material discussions, manuscript proofreading and corrections;

Pavlov S.A. – scientific guidance, preparing the initial version of the manuscript;

Bashmakov I.A. – computer work, research results processing, manuscript revision, formulating general conclusions, literature review.

The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию

Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on

The paper was accepted for publication on

15.12.2022

06.02.2023