Тип статьи: научная
УДК 631.362.36
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-1-100-107

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЗЕРНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Николай Петрович Тишанинов[1], Александр Витальевич Анашкин[2], Сергей Владимирович Емельянович[3]
[1,2,3]Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, г. Тамбов, Россия
[1]vniitinlab5@mail.ru, [2]av-anashkin@mail.ru, [3]seruvarovo@yandex.ru

Автор, ответственный за переписку: Александр Витальевич Анашкин, av-anashkin@mail.ru
Corresponding author: Alexander Anashkin, av-anashkin@mail.ru

Реферат. *Аэродинамические свойства компонентов зернового вороха при его послеуборочной подработке являются одним из важнейших параметров, влияющих на качество получаемого зерна и семян. Рассмотрены существующие устройства, позволяющие установить скорости витания зерновых материалов, отмечены их недостатки и ограничения. Разработан парусный пневмоклассификатор, обеспечивающий плавную регулировку скорости воздушного потока и высокую точность его измерения. Проведены экспериментальные исследования по установлению полигонов распределения скоростей витания для ряда зерновых материалов с помощью разработанного классификатора. Установлено, что диапазоны скоростей витания для разных культур существенно различаются. Для пшеницы и гречишки вьюнковой диапазоны скоростей витания не пересекаются, что позволяет полностью их разделить с помощью воздушного потока со скоростью 5,91-8 м/с. Скорость витания сорго (8,37-10,02 м/с) полностью перекрывается диапазоном этого показателя для пшеницы, поэтому разделить их с помощью аспирационных систем не представляется возможным. Диапазоны критических скоростей проса, вики и пшеницы частично пересекаются, что свидетельствует о невозможности полного отделения этих примесных компонентов без потерь зерна основной культуры. При скорости воздушного потока 9 м/с из зерносмеси пшеница-просо будет выделено 96,9 % примесного компонента при технологических потерях основной культуры на уровне 4 %. Даже при незначительном увеличении скорости воздушного потока неизбежно существенное увеличение потерь пшеницы. Вику можно полностью отделить от пшеницы при скорости воздушного потока 11 м/с с потерями 1,8 % пшеницы. Результаты выполненных исследований необходимы для повышения эффективности использования пневмосепарирующего оборудования за счет применения обоснованных рациональных режимов работы.*

Ключевые слова: *зерно, сорные примеси, скорость витания, полигон распределения, парусный пневмоклассификатор.*

RESULTS OF INVESTIGATIONS OF AERODYNAMIC PROPERTIES OF GRAIN MATERIALS

Nikolai Tishaninov[1], Alexander Anashkin[2], Sergey Emelyanovich[3]
[1,2,3]All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Tambov, Russia
[1]vniitinlab5@mail.ru, [2]av-anashkin@mail.ru, [3]seruvarovo@yandex.ru

Abstract. *The aerodynamic properties of the components of the grain pile during its post-harvest processing are one of the most important parameters affecting the quality of the resulting grain and seeds. Existing devices are considered that allow establishing the speed of soaring of grain materials, their shortcomings and limitations are noted. A sail pneumatic classifier has been developed that*

provides smooth adjustment of the air flow rate and high accuracy of its measurement. Experimental studies have been carried out to establish polygons for the distribution of soaring speeds for a number of grain materials using the developed classifier. It has been established that the ranges of soaring speeds for different crops differ significantly. The soaring speed ranges for wheat and bindweed buckwheat do not intersect, which allows them to be completely separated using an air flow at a speed of 5.91-8 m/s. The soaring speed of sorghum (8.37-10.02 m/s) is completely covered by the range of this indicator for wheat, so it is not possible to separate them using aspiration systems. The ranges of critical rates of millet, vetch and wheat partially intersect, which indicates the impossibility of complete separation of these impurity components without loss of grain of the main crop. At an air flow rate of 9 m/s, 96.9% of the impurity component will be released from the wheat-millet grain mixture with technological losses of the main crop at the level of 4%. Even with a slight increase in the air flow rate, a significant increase in wheat losses is inevitable. Vetch can be completely separated from wheat at an air speed of 11 m/s with a loss of 1.8% of wheat. The results of the performed studies are necessary to improve the efficiency of the use of pneumatic separating equipment through the use of reasonable rational operating modes.

Keywords: *grain, weed impurities, soaring speed, distribution area, sail pneumatic classifier.*

Для цитирования: Тишанинов Н.П., Анашкин А.В., Емельянович С.В. Результаты исследований аэродинамических свойств зерновых материалов // Наука в Центральной России. 2023. Т. 61, № 1. С. 100-107. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-1-100-107.

For citation: Tishaninov N, Anashkin A., Emelyanovisch S. Results of investigations of aerodynamic properties of grain materials. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 61(1): 100-107. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-1-100-107.

Введение. При послеуборочной подработке урожая зерновых культур на зерноочистительных агрегатах осуществляется разделение компонентов зерносмесей по ряду признаков, характеризующих физико-механические свойства сыпучих материалов [1-5]. Одним из важных признаков, характеризующих аэродинамические свойства сыпучего материала, является скорость витания частиц или критическая скорость. По этому признаку в существующих зерноочистительных технологиях с помощью аспираторов, аспирационных колонок, пневмосепараторов, пневмосепарирующих каналов отделяются легкие примеси от зерна основной культуры. При проектировании указанных устройств, а также пневмотранспортных установок [6, 7], для определения оптимальных режимов их работы необходима информация о полигонах распределения скоростей витания разделяемых или транспортируемых сыпучих материалов.

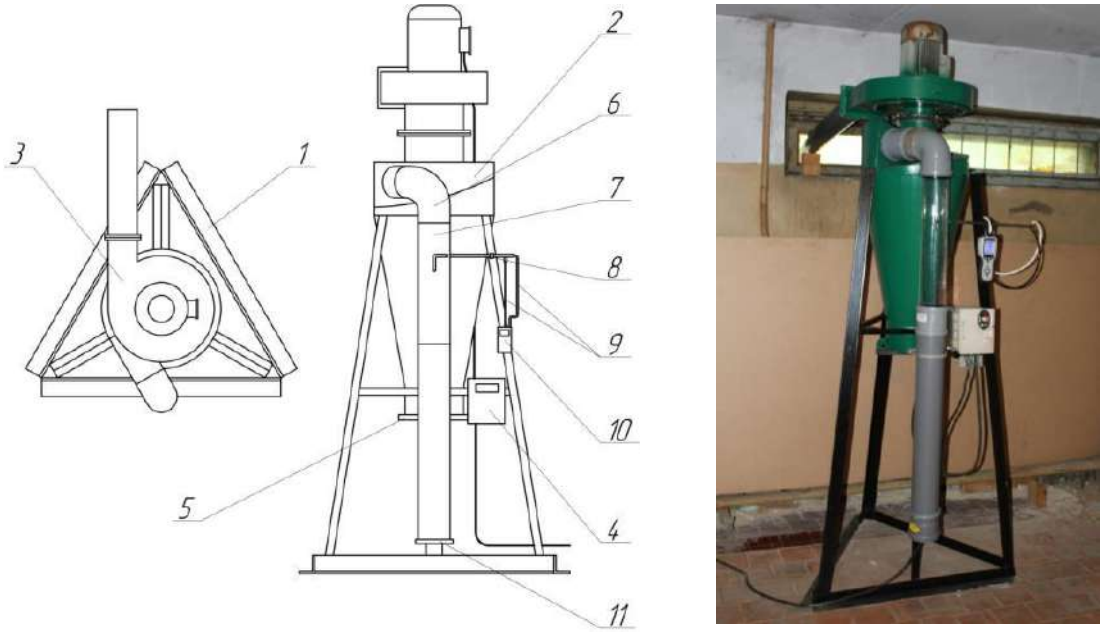
Кроме того физико-механические свойства зерновых материалов, в том числе аэродинамические, необходимо контролировать при экспериментальных исследованиях любых технологических процессов, протекающих в зерноочистительных технологиях, что повышает достоверность получаемых результатов.

В литературных источниках имеются результаты исследований аэродинамических свойств ряда зерновых материалов [8-16], однако эти свойства существенно зависят от множества факторов: влажности материала, натуры, плотности частиц, их формы и линейных размеров, шероховатости поверхности и т.д. Множественность сочетаний этих факторов требует контроля аэродинамических свойств в каждом конкретном случае разработки зерноочистительных технологий или эксплуатационной настройки оборудования. Существующие конструкции, позволяющие определить скорости витания зерновых материалов [17-20], имеют низкую точность измерений, габаритны, сложны и имеют существенные ограничения в использовании. В связи с этим разработан пневмоклассификатор, исключающий отмеченные недостатки.

Материалы и методы. Экспериментальные исследования аэродинамических свойств зерновых материалов проводились на разработанном и изготовленном нами парусном классификаторе, конструктивная схема и общий вид которого представлены на рисунке 1.

Пневмоклассификатор содержит: раму 1; циклон 2 с вентилятором 3, подключенным к частотному преобразователю 4, и выгрузной крышкой 5; воздуховод 6 с прозрачной вставкой 7, в которую установлена трубка Пито 8 с помощью воздушных трубок 9, подключенных к дифференциальному манометру 10, и загрузочной чашей 11 с сеткой.

В качестве исследуемых материалов были использованы семена пшеницы, гречишки вьюнковой, сорго, проса, вики. На рисунке 2 представлена загрузочная чаша 11 с исследуемой навеской гречишки вьюнковой.



1 – рама, 2 – циклон, 3 –вентилятор, 4 – частотный преобразователь, 5 – выгрузная крышка, 6 – воздуховод, 7 – прозрачная вставка, 8 – трубка Пито, 9 – воздушные трубки, 10 – дифференциальный микроманометр, 11 – загрузочная чаша с сеткой

Рисунок 1 – Парусный пневмоклассификатор

Рисунок 2 – Загрузочная чаша с навеской гречишки вьюнковой

Порядок использования пневмоклассификатора следующий. Перед началом эксперимента в загрузочную чашу 11 засыпают навеску зерна исследуемого материала. Включают вентилятор 3 и с помощью частотного преобразователя 4 устанавливают начальную скорость воздушного потока в воздуховоде 6, которую контролируют дифференциальным манометром 10, соединенным с трубкой Пито 8 воздушными трубками 9. При этом часть исследуемого материала воздушным потоком будет вынесена из загрузочной чаши 11 в циклон 2. После этого вентилятор 3

выключают, открывают выгрузную крышку 5, собирают исследуемый материал и взвешивают на электронных лабораторных весах ВК-600 с точностью 0,01 г. Далее выгрузную крышку 5 закрывают, включают вентилятор 3, и с помощью частотного преобразователя 4 и микроманометра 10, увеличивают скорость воздушного потока согласно запланированным интервалам варьирования. Цикл измерений повторяют до полного израсходования исследуемого материала.

Результаты и их обсуждение. С помощью созданного нами оборудования были исследованы аэродинамические свойства некоторых зерновых материалов, таблица 1.

Таблица 1 – Скорости витания исследуемых материалов

Скорость воздушного потока V, м/с	Масса выделенных частиц m, г	Доля выделенных частиц (частота события) *f*, %
Пшеница		
8	0,44	1,3
9	0,9	2,7
10	7,81	23,2
11	18,6	55,8
12	5,6	16,8
Гречишка вьюнковая		
4,85	0,72	13,6
5,11	0,77	14,6
5,47	2,18	41,3
5,65	1,08	20,5
5,91	0,53	10,0
Сорго		
8,37	0,45	4,0
8,77	1,18	10,5
8,84	2,11	18,8
9,46	4,85	43,1
10,02	2,65	23,6
Просо		
7,49	0,17	1,9
7,79	0,4	4,5
8,17	0,86	9,8
8,45	2,14	24,3
8,7	3,15	35,7
8,99	1,65	18,7
9,16	0,45	5,1
Вика		
11,4	0,66	4,1
11,95	2,52	15,6
12,09	2,18	13,5
12,46	1,82	11,3
12,64	5,54	34,3
12,8	1,75	10,8
13,03	1,67	10,3

Из таблицы 1 видно, что диапазоны скоростей витания для разных культур существенно различаются. Если рассматривать пшеницу как основную культуру, а остальные в качестве сорных примесей, то по полученным результатам исследований можно установить возможности

выделения компонентов с помощью воздушного потока. Для пшеницы и гречишки вьюнковой диапазоны скоростей витания не пересекаются, что позволяет полностью их разделить с помощью воздушного потока со скоростью 5,91-8 м/с.

Скорость витания сорго (8,37-10,02 м/с) полностью перекрывается диапазоном этого показателя у пшеницы, поэтому разделить их с помощью аспирационных систем не представляется возможным. Поэтому сорго целесообразно выделять из пшеницы с помощью ячеистой поверхности кукольного триера [21].

Диапазоны критических скоростей проса, вики и пшеницы частично пересекаются, что свидетельствует о невозможности полного отделения этих примесных компонентов без потерь зерна основной культуры. Так при скорости воздушного потока 9 м/с из зерносмеси пшеница-просо будет выделено 96,9% примесного компонента при технологических потерях на уровне 4 %. Даже при незначительном увеличении скорости воздушного потока неизбежно существенное увеличение потерь пшеницы.

Вику можно полностью отделить от пшеницы при скорости воздушного потока 11 м/с с технологическими потерями 1,8 %. При этом пшеница будет выноситься воздушным потоком, превышающим ее критические скорости, а семена вики будут оседать. Поэтому такой режим пневмосепарирования можно рассматривать только в случае, когда основной культурой является вика, а пшеница присутствует в зерносмеси в малых количествах наряду с другими примесями. В этом случае степень выделения пшеницы, как примесного компонента, составит 98,2 %. Для полного ее выделения необходим воздушный поток со скоростью более 12 м/с, что приведет к потерям более 19,7 % вики.

В графическом виде полигоны распределения скоростей витания частиц некоторых из исследованных материалов представлены на рисунках 3 - 6.

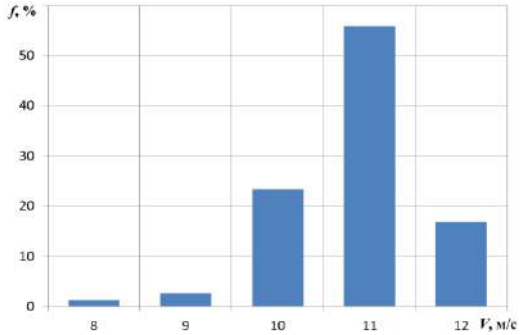


Рисунок 3 – Полигон распределения скоростей витания пшеницы

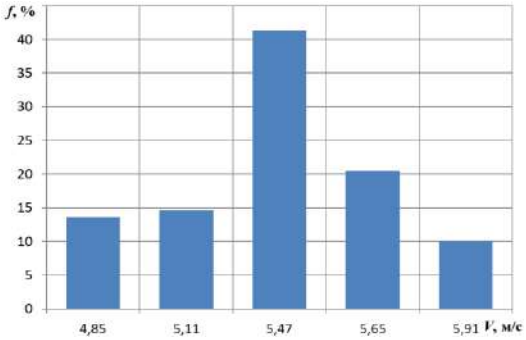


Рисунок 4 – Полигон распределения скоростей витания гречишки вьюнковой

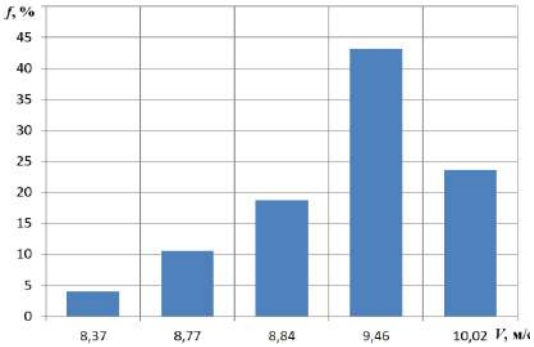


Рисунок 5 – Полигон распределения скоростей витания сорго

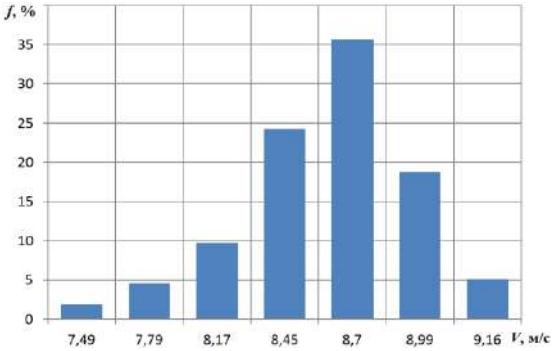


Рисунок 6 – Полигон распределения скоростей витания проса

В ходе исследований установлено, что взаимосвязь скорости воздушного потока (V) в воздуховоде с частотой тока (*f*) в схеме электропривода вентилятора имеет линейный характер с высокой степенью корреляции (величина достоверности аппроксимации составляет $R^2 = 0,9971$) и описывается уравнением:

$$V = 0,5483f - 0,2614. \quad (1)$$

Незначительные отклонения скорости потока объясняются нестабильностью напряжения в питающей сети.

Заключение. Разработанный парусный классификатор позволяет качественно выполнять исследования аэродинамических свойств зерновых материалов. Анализ установленных полигонов распределения их скоростей витания позволяет оценить возможности разделения компонентов зерносмесей с помощью воздушного потока в пневмосепарирующих зерноочистительных машинах с учетом качества очистки и вероятных технологических потерь зерна основной культуры. Кроме того, результаты исследований аэродинамических свойств зерновых материалов необходимы при разработке пневмосепарирующего оборудования и повышения эффективности его использования за счет применения рациональных режимов работы.

Список источников

1. Заика П.М., Мазнев Г.Е. Сепарация семян по комплексу физико-механических свойств. – М.: «Колос», 1978. – 287 с.

2. Тиц З.Л., Анискин В.И. и др. Машины для послеуборочной поточной обработки семян. М.: «Машиностроение», 1967. – 447 с.

3. Федоренко В.Ф., Ревякин Е.Л. Зерноочистка – состояние и перспективы. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2006. – 204 с.

4. Дринча В.М. Правила очистки семян трав // Земледелие. – 2001. – № 5. – С. 36.

5. Куликов В.Н., Миловидов М.Е. Оборудование предприятий элеваторной и зерноперерабатывающей промышленности. – М.: «Колос», 1984. – 336 с.

6. Зуев Ф.Г. Пневматическое транспортирование на зерноперерабатывающих предприятиях. – М.: «Колос», 1976. – 344 с.

7. Александров А.Н., Козориз Г.Ф. Пневмотранспорт и пылеулавливающие сооружения на деревообрабатывающих предприятиях: Справочник / Под ред. А.Н. Александрова. – М.: Лесн. Пром-сть, 1988. – 248 с.

8. Деревенко В.В., Коробченко А.С., Аленкина И.Н. Скорость витания семян тыквы сортов «Зимняя сладкая» и «Гитара» // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2011. – № 5-6 (323-324). – С. 107-108.

9. Деревенко В.В., Глущенко Г.А. Скорость витания ядра и лузги семян подсолнечника // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2011. – № 1 (319). – С. 89-90.

10. Зимин И.Б., Игнатенков В.Г., Яковлев М.А., Смирнов А.В. Экспериментальное исследование аэродинамических характеристик гранулированных сыпучих материалов // Известия Великолукской государственной сельскохозяйственной академии. – 2020. – № 2 (31). – С. 29-33.

11. Воронов А.М. Разделение зерновой вороха белого люпина по аэродинамическим свойствам / В сборнике: Инновационные идеи молодых исследователей для агропромышленного комплекса России. Сборник материалов Международной научно-практической конференции молодых ученых. –2016. – С. 98-101.

12. Карпов В.П., Жуков С.А. Исследование аэродинамических свойств стебельных кормов // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. – 2018. – № 2 (30). – С. 147-149.

13. Шаршунов В.А., Сентюров Н.С., Цайц М.В. Определение скорости витания компонентов вороха льнокостры // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2021. – № 2. – С. 171-175.

14. Вайтехович Ю.А., Кузнецов Н.С. Аэродинамические свойства зерен пшеницы: определение скорости их витания в воздушном потоке / В сборнике: Современные проблемы науки. Материалы Российской национальной научной конференции с международным участием. – 2017. – С. 56-59.

15. Гультяев И.А. Результаты исследования аэродинамических свойств зерна ячменя / В сборнике: Молодежь XXI века: шаг в будущее. Материалы XIX региональной научно-практической конференции. – 2018. – С. 233-234.

16. Доровских Д.В. Обоснование конструктивно-режимных параметров совмещенной пневмотранспортно-сепарирующей системы по критериям качества технологического процесса : дис. … канд. тех. наук :05.20.01. – 2002. – 245 с.

17. Листопад Г.Е., Демидов Г.К., Зонов Б.Д. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины. – М.: Агропромиздат, 1986. – С. 581-582.

18. Пат. 2125493 Российская Федерация, Пневматический классификатор / Кирсанов В.А., Славянский В.Н., Таранушич В.А., Новоселов А.М., Богданов А.В. – № 94044407/03; заявл. 19.12.1994; опубл. 27.01.1999.

19. Пат. 2019315 Российская Федерация, Пневмоклассификатор / Герцен Н.И. – № 5028735/03; заявл. 24.02.1992; опубл. 15.09.1994.

20. Пат. 2169626 Российская Федерация, Пневмоклассификатор / Кирсанов В.А., Таранушич В.А., Филин В.М., Кирсанов М.В., Титаренко В.В. – № 99125484/03; заявл. 30.11.1999; опубл. 27.06.2001, Бюл. № 18.

21. Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. Качество выделения семян горчицы и сорго из пшеницы ячеистыми поверхностями // Наука в центральной России. – 2017. – № 3 (27). – С. 42-48.

References

1. Zaika P.M., Maznev G.E. Separation of seeds according to the complex of physical and mechanical properties. - M.: "Spike", 1978. - 287 p.

2. Tits Z.L., Aniskin V.I. and other Machines for post-harvest in-line seed treatment. M.: "Engineering", 1967. - 447 p.

3. Fedorenko V.F., Revyakin E.L. Grain cleaning - state and prospects. - M.: FGNU "Rosinformagrotech", 2006. - 204 p.

4 Drincha V.M. Rules for cleaning grass seeds // Agriculture. - 2001. - No. 5. - P. 36.

5. Kulikov V.N., Milovidov M.E. Equipment for enterprises of the elevator and grain processing industry. - M.: "Kolos", 1984. - 336 p.

6. Zuev F.G. Pneumatic transportation at grain processing enterprises. - M .: "Kolos", 1976. - 344 p.

7. Alexandrov A.N., Kozoriz G.F. Pneumatic transport and dust collection facilities at woodworking enterprises: a Handbook / Ed. A.N. Alexandrova. – M.: Lesn. Prom-st, 1988. - 248 p.

8. Derevenko V.V., Korobchenko A.S., Alenkina I.N. Vitalization rate of pumpkin seeds varieties "Winter Sweet" and "Guitar" Food technology. - 2011. - No. 5-6 (323-324). - S. 107-108.

9. Derevenko V.V., Glushchenko G.A. The speed of soaring of the kernel and husks of sunflower seeds. Izvestia of higher educational institutions. Food technology. - 2011. - No. 1 (319). – S. 89-90.

10. Zimin I.B., Ignatenkov V.G., Yakovlev M.A., Smirnov A.V. Experimental study of the aerodynamic characteristics of granular bulk materials // Proceedings of the Velikiye Luki State Agricultural Academy. - 2020. - No. 2 (31). - S. 29-33.

11. Voronov A.M. Separation of the grain heap of white lupine according to aerodynamic properties / In the collection: Innovative ideas of young researchers for the agro-industrial complex of Russia. Collection of materials of the International scientific-practical conference of young scientists. –2016. - S. 98-101.

12. Karpov V.P., Zhukov S.A. Study of the aerodynamic properties of stalk fodder // Bulletin of the All-Russian Scientific Research Institute of Mechanization of Animal Husbandry. - 2018. - No. 2 (30). - S. 147-149.

13. Sharshunov V.A., Sentyurov N.S., Tsayts M.V. Determination of the soaring speed of the components of a heap of flax fires // Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy. - 2021. - No. 2. - P. 171-175.

14. Vaitekhovich Yu.A., Kuznetsov N.S. Aerodynamic properties of wheat grains: determining the speed of their soaring in the air stream / In the collection: Modern problems of science. Proceedings of the Russian National Scientific Conference with International Participation. - 2017. - S. 56-59.

15. Gultyaev I.A. The results of the study of the aerodynamic properties of barley grain / In the collection: Youth of the XXI century: a step into the future. Materials of XIX regional scientific-practical conference. - 2018. - S. 233-234.

16. Dorovskikh D.V. Substantiation of constructive-regime parameters of the combined pneumotransport-separating system according to the quality criteria of the technological process: dis. … cand. those. Sciences: 05.20.01. - 2002. - 245 p.

17. Listopad G.E., Demidov G.K., Zonov B.D. Agricultural and reclamation machines. - M.: Agropromizdat, 1986. - S. 581-582.

18. Pat. 2125493 Russian Federation, Pneumatic classifier / Kirsanov V.A., Slavyansky V.N., Taranushich V.A., Novoselov A.M., Bogdanov A.V. – No. 94044407/03; dec. 12/19/1994; publ. 01/27/1999.

19. Pat. 2019315 Russian Federation, Pneumatic classifier / Herzen N.I. - No. 5028735/03; dec. 02/24/1992; publ. 09/15/1994.

20. Pat. 2169626 Russian Federation, Pneumatic classifier / Kirsanov V.A., Taranushich V.A., Filin V.M., Kirsanov M.V., Titarenko V.V. – No. 99125484/03; dec. 11/30/1999; publ. 06/27/2001, Bull. No. 18.

21. Tishaninov N.P., Anashkin A.V. The quality of isolation of mustard and sorghum seeds from wheat with cellular surfaces // Science in Central Russia. - 2017. - No. 3 (27). - S. 42-48.

Информация об авторах

Н.П. Тишанинов - доктор технических наук, профессор; А.В. Анашкин - доктор технических наук; С.В. Емельянович – младший научный сотрудник.

Information about the authors

N.P. Tishaninov - Doctor of Technical Sciences, Professor; A.V. Anashkin - Doctor of Technical Sciences; S.V. Emelyanovich – junior researcher.

Вклад авторов все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: *all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication*.

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 17.12.2022 Принята к публикации (Accepted): 14.02.2023