

#### 4.3.1. ТЕХНОЛОГИИ, МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА (ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)

Научная статья

УДК 631.362.36

DOI: 10.53914/issn2071-2243\_2023\_2\_98

EDN: PZSDFM

#### Разброс значений коэффициента парусности семян пшеницы при аэродинамической сепарации

Владимир Васильевич Василенко<sup>1✉</sup>, Владимир Иванович Оробинский<sup>2</sup>,  
Сергей Владимирович Василенко<sup>3</sup>, Денис Николаевич Посохов<sup>4</sup>

<sup>1, 2, 3, 4</sup>Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I,  
Воронеж, Россия

<sup>1</sup>vladva.vasilenko@yandex.ru✉

**Аннотация.** Принцип воздушной сепарации зерна основан на различии в аэродинамических свойствах компонентов зерновой смеси. Основными показателями аэродинамических свойств частиц смеси, определяющими ее делимость в воздушной среде, являются скорость витания и коэффициент парусности, при этом следует иметь в виду, что они не являются константами даже в пределах одного сорта культуры. Всегда существует некий диапазон изменений, что влияет на выбор рациональных регулировок зерноочистительных машин. Диапазоны изменений признаков очистки у культуры и засорителя зачастую перекрываются, и тогда полное разделение фракций невозможно, при этом неизбежны потери зерна и присутствие части примесей в очищенном зерне, то есть ухудшение качества очистки. Для обоснованного выбора режима работы очистительной установки, а также для предварительной оценки качества сепарации необходимо знать не только границы диапазона изменений коэффициентов парусности, но и закономерность их изменений внутри диапазона. Большинство исследователей допускают, что эта закономерность соответствует нормальному закону распределения случайной величины, игнорируя явное смещение среднего значения в сторону больших значений коэффициента парусности. Проведены лабораторные исследования аэродинамических свойств семян пшеницы, которые позволили уточнить выбор закона плотности распределения вероятности. Исследования скорости витания и аналитически связанного с ней коэффициента парусности семян пшеницы показали, что коэффициент парусности в качестве признака аэродинамической очистки от засорителей целесообразно аппроксимировать случайной величиной с плотностью вероятности, описываемой законом гамма-распределения, что повышает точность настройки зерноочистителей и, как следствие, качество сепарации. Проверка соответствия экспериментальных данных этой закономерности по критериям согласия Пирсона и А.Н. Колмогорова не выявила противоречий, исключающих возможность применения гамма-распределения.

**Ключевые слова:** парусный классификатор, коэффициент парусности, скорость витания, плотность вероятности, качество сепарации

**Для цитирования:** Василенко В.В., Оробинский В.И., Василенко С.В., Посохов Д.Н. Разброс значений коэффициента парусности семян пшеницы при аэродинамической сепарации // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2023. Т. 16, № 2(77). С. 98–105. [https://doi.org/10.53914/issn2071-2243\\_2023\\_2\\_98](https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2023_2_98)–105.

#### 4.3.1. TECHNOLOGIES, MACHINERY AND EQUIPMENT FOR AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX (ENGINEERING SCIENCES)

Original article

#### Coefficient of sailing capacity of wheat seeds and its variations during aerodynamic separation

Vladimir V. Vasilenko<sup>1✉</sup>, Vladimir I. Orobinsky<sup>2</sup>, Sergei V. Vasilenko<sup>3</sup>, Denis N. Posokhov<sup>4</sup>

<sup>1, 2, 3, 4</sup>Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, Russia

<sup>1</sup>vladva.vasilenko@yandex.ru✉

**Abstract.** The principle of air separation of grain is based on the difference in the aerodynamic properties of the components of the grain mixture. The main indicators of the aerodynamic properties of the particles in the mixture determining its separability in the air environment are hovering velocity and coefficient of sailing capacity of seeds. Besides it should be noted that the mentioned properties are not constants even within the same crop variety. There is always a certain range of variations affecting the choice of rational adjustments of grain separating units. The ranges of variations in the signs of separation at seed and weed cleaning could overlap, and then complete separation into fractions becomes impossible, while grain losses and the presence of some impurities in the cleaned grain are inevitable, thus reducing the quality of separation process. For a reasonable

selection of the operating mode of seed cleaning machine, as well as for a preliminary assessment of the quality of separation, it is necessary to know not only the boundaries of the range of changes in coefficients of sailing capacity of seeds and weeds, but also the regularity of their changes within the range. Most researchers assume that such regularity corresponds to the normal distribution law of random variable, ignoring the obvious shift of the average value towards large values of the coefficient of sailing capacity. The authors have conducted laboratory testing of the aerodynamic properties of wheat seeds aimed at clarifying the selection of density of probability distribution law. Studies on hovering velocity and analytically related coefficient of sailing capacity of wheat seeds showed that coefficient of sailing capacity as a sign of aerodynamic cleaning from weeds should be approximated by a random variable with a probability density described by the gamma distribution law, which increases the accuracy of grain cleaner adjustment, as well as the quality of separation. Verification of the match of experimental data with this regularity according to Pearson's chi-squared test and the Kolmogorov-Smirnov test did not reveal any contradictions that exclude the possibility of using the law of gamma distribution.

**Key words:** sailing properties classifier, coefficient of sailing capacity, hovering velocity, probability density, quality of separation

**For citation:** Vasilenko V.V., Orobinsky V.I., Vasilenko S.V., Posokhov D.N. Coefficient of sailing capacity of wheat seeds and its variations during aerodynamic separation. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2023;16(2):98-105. (In Russ.). [https://doi.org/10.53914/issn2071-2243\\_2023\\_2\\_98-105](https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2023_2_98-105).

## Введение

Для очистки зерна от примесей, отличающихся от основной культуры аэродинамическими свойствами (к ним относят щуплые и недоразвитые зерна, пленки, оболочки, части стеблей, полосу, пыль и др.), применяют пневматические сепараторы и аспираторы. Принцип воздушной сепарации зерна основан на различии в аэродинамических свойствах компонентов зерновой смеси.

Установлено, что основными показателями аэродинамических свойств частиц смеси, определяющими ее делимость в воздушной среде, являются скорость витания, коэффициент сопротивления и коэффициент парусности, при этом именно последний является наиболее важным для определения рационального режима работы очистительной установки и аналитически связан [5, 10] со скоростью витания выражением

$$V_{кр} = \sqrt{\frac{g}{k_n}}, \quad (1)$$

где  $V_{кр}$  – критическая скорость (скорость витания), м/с;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$k_n$  – коэффициент парусности, м<sup>-1</sup>.

Критическая скорость воздуха, или скорость витания обеспечивает вынос частицы из общего потока или ограничивает скорость свободного падения частицы в неподвижной воздушной среде. При аэродинамической сепарации сыпучих смесей по этому признаку самым сложным является обеспечение равномерности воздушного потока по всей площади сечения рабочего канала [11]. Из двух возможных типов – нагнетательного и аспирационного – предпочтительными являются аспирационные каналы, создающие необходимые параметры равномерности воздушного потока. В принципе возможна сепарация в неподвижном воздушном пространстве за счет различной скорости свободного падения семян или скорости горизонтального полета. Такая технология предполагает достижение более высокого качества очистки.

Для успешного проектирования и расчета зерноочистительных установок необходимо иметь базовые данные лабораторных исследований коэффициентов парусности. К сожалению, этот показатель значительно изменяется по культурам, сортам, зависит от влажности семян в момент измерения, поэтому для разработчиков технологий и технических средств литературные данные носят лишь ориентировочный характер, в связи с чем их следует уточнять, выполняя собственные эксперименты.

Сотрудники Кубанского государственного аграрного университета экспериментальным путем определили и привели следующие значения критических скоростей семян (скоростей витания) зерновых культур и сорняков (м/с):

- пшеница – 9–12;
- овес 8,1–9,1;
- сорняки – 2–7 [10].

Несколько иные значения скоростей витания семян приведены на сайте «Все о зерне. Технологии хранения и переработки» (м/с) [1]:

- пшеница – 8,9–11,5;
- ячмень – 8,4–10,8;
- кукуруза – 12,5–14,0;
- овес – 8,1–9,1;
- просо – 6,7–8,8;
- гречиха – 4,4–8,0.

Специалисты, разрабатывавшие основы аэродинамической сепарации сыпучих материалов (Анисимов А.В., Личко Н.М., Логачев И.Н., Логачев К.И.), приводят более широкий диапазон скорости витания зерна пшеницы, а именно: 8,9–15,0 м/с [2, 3, 4].

Разброс значений критических скоростей семян (значений скоростей витания) объясняется разными факторами, в том числе различной степенью выполненности зерновок и их зрелости, влажностью и ориентацией в пространстве в момент измерения скорости воздушного потока. При этом весьма ощутимое влияние на результат оказывает качество лабораторного оборудования.

Обычно скорость витания определяют на парусном классификаторе, оснащенном микроманометром с трубкой Пито-Прандтля. Скорость воздушного потока вычисляется по показаниям динамического напора [5]:

$$V = 4\sqrt{h_d}, \quad (2)$$

где  $V$  – скорость воздушного потока, м/с;

$h_d$  – динамический напор, мм вод. ст.

Знание одного лишь диапазона изменения скорости витания или коэффициента парусности для какой-либо культуры является недостаточным для прогнозирования результатов сепарации с определением качества работы. Для этого искомый показатель принимается за случайную величину, и определяется закон распределения плотности вероятности этой случайной величины.

#### **Постановка задачи и метод решения**

Обычно экспериментаторы при определении показателя какого-либо признака очистки ограничиваются нахождением диапазона его изменений, указывая минимальные и максимальные значения. В лучшем случае указывается, что в границах этого диапазона признак носит случайный характер с нормальным законом распределения плотности вероятности. Аппроксимация нормальным законом удобна тем, что на графике он симметричен относительно центра рассеивания, его числовые характеристики легко определяются, и вообще он более привычен по своему распространению в природе. Однако опыты по определению скорости витания семян, например пшеницы, показывают, что при достаточно подробном разграничении навески на разряды статистического ряда симметрия отклонений от среднего значения нарушается.

Статистический ряд больше растягивается в сторону уменьшения скорости витания или увеличения парусности семян. Это говорит о присутствии значительной части щуплых, недоразвитых семян на одном краю статистического ряда, в то время как нормальные, выполненные семена компактно находятся на другом его краю. Чаще всего засорители пшеницы более легковесны, чем сама культура, и они примыкают к статистическому ряду пшеницы именно со стороны щуплых зерен, поэтому их потеря в отходы лишь улучшает качество аэродинамической очистки. Для более точного прогноза качества очистки по предварительному выбору режима работы очистителя требуется уточнение реально существующей закономерности распределения случайной величины – скорости витания семян пшеницы.

Эксперименты по поиску аппроксимирующей закономерности проводились на парусном классификаторе, сконструированном сотрудниками кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей Воронежского государственного аграрного университета. Навеска зерна пшеницы массой 300 г последовательно продувалась воздушным потоком с динамическим напором 3, 6, 9, ... 24 мм вод. ст. Вынесенная воздушным потоком фракция зерна каждого варианта взвешивалась, полученные значения записывались в журнал опыта. По показателю динамического напора с использованием выражения (2) вычислялась скорость витания в данном разряде статистического ряда и по выражению (1) – коэффициент парусности.

Статистическая вероятность коэффициента парусности в каждом разряде вычислялась как доля массы семян в разряде по отношению ко всей навеске, а сумма произведений разрядных значений на их статистическую вероятность определяла среднее значение коэффициента парусности. В каждом разряде определялась разность между коэффициентом парусности и его средним значением, по которой в итоге определяли дисперсию, среднее квадратичное отклонение и показатели предполагаемого гамма-распределения коэффициента парусности.

### Результаты и их обсуждение

В результате лабораторных экспериментов по определению коэффициента парусности семян пшеницы получены следующие данные (табл. 1).

Таблица 1. Статистический ряд коэффициента парусности семян пшеницы

$h_d$ , мм вод. ст.	$V_{вум}$ , м/с	$x_i$ , м <sup>-1</sup>	$m_i$ , г	$m_i x_i$	$\alpha_i$ , м <sup>-1</sup>	$m_i \alpha_i^2$	$p_i^*$
24,0	27,47	0,013	2,6	0,0338	-0,0991	0,0255	0,0087
21,0	19,06	0,027	1,4	0,0378	-0,0851	0,0101	0,0047
18,0	17,79	0,031	3,3	0,1023	-0,0811	0,0217	0,0110
15,0	16,28	0,037	6,9	0,2553	-0,0751	0,0389	0,0210
12,0	14,76	0,045	14,9	0,6631	-0,0671	0,0671	0,0498
9,0	12,79	0,060	37,2	2,2320	-0,0521	0,1010	0,1242
6,0	10,74	0,085	91,5	7,7775	-0,0271	0,0672	0,3056
3,0	8,06	0,151	130,9	19,7659	0,0389	0,1981	0,4372
2,0	6,24	0,252	10,7	2,6964	0,1399	0,2094	0,0357
$\Sigma$			299,4	33,5641		0,7390	0,998

Обозначения показателей к таблице 1:

$h_d$  – динамический напор воздушного потока, мм вод. ст.;

$V_{вум}$  – скорость витания частицы, м/с;

$x_i$  – временное обозначение коэффициента парусности  $k_n$ , м<sup>-1</sup>;

$m_i$  – масса вынесенных воздушным потоком семян, г;

$m_i x_i$  – составляющие части среднего значения коэффициента парусности;

$\alpha_i$  – отклонения разрядных значений коэффициента парусности от его среднего значения, м<sup>-1</sup>;

$m_i \alpha_i^2$  – составляющие дисперсии коэффициента парусности;

$p_i^*$  – статистическая вероятность разрядного значения коэффициента парусности; вычисляется как доля массы семян в каждом разряде по отношению ко всей навеске:

$$p_i^* = \frac{m_i}{\Sigma m_i} \quad (3)$$

Гистограмма выражения (3) дает представление о возможности аппроксимации экспериментальных данных тем или иным законом распределения случайной величины (рис. 1).

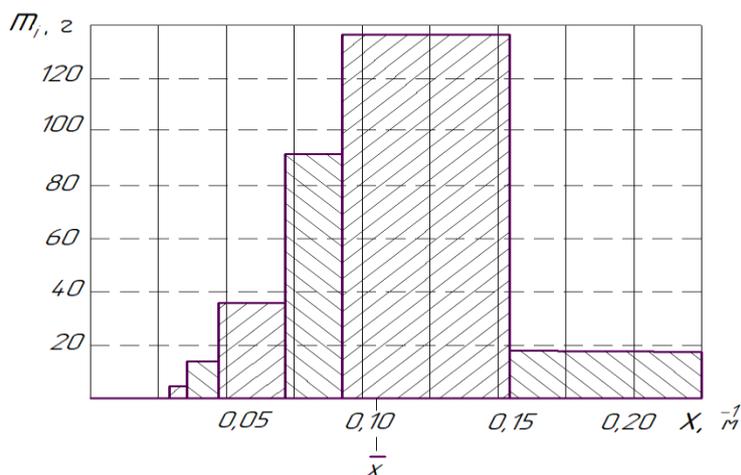


Рис. 1. Гистнограмма массы зерен пшеницы в разрядах статистического ряда

График оказался больше вытянутым в сторону увеличения коэффициента парусности с асимметричным размещением среднего значения  $\bar{x}$ . За аппроксимирующее выражение для плотности распределения случайной величины  $x$  принимается гамма-распределение [6, 9], которое отличается универсальностью математического выражения от простейшего показательного закона со 100% коэффициентом вариации и полным хаосом в чередовании чисел до регулярного потока без всякой вариации чисел. Числовые характеристики этого распределения вычисляются по экспериментальным данным, приведенным в таблице 1.

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i m_i}{\sum m_i} = 0,112, \quad (4)$$

где  $\bar{x}$  – среднее значение коэффициента парусности, оно может быть принято за математическое ожидание,  $m^{-1}$ .

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^c m_i \alpha_i^2}{\sum_{i=1}^c m_i}} = 0,05, \quad (5)$$

где  $\sigma$  – среднее квадратичное отклонение коэффициента парусности,  $m^{-1}$ ;  
 $c$  – число разрядов статистического ряда.

$$V = \frac{\sigma}{\bar{x}} = 0,45, \quad (6)$$

где  $V$  – коэффициент вариации искомого показателя.

Как и другие закономерности, гамма-распределение конкретизируется к описываемому событию двумя специфическими числовыми величинами, из которых одна характеризует степень разброса значений и обозначается  $\alpha$ , а другая зависит от среднего размера случайной величины и обозначается  $\beta$ :

$$\alpha = V^{-2} = 4,938; \quad \beta = \frac{\alpha}{\bar{x}} = 44,09. \quad (7)$$

Аппроксимирующее выражение для нашего случая принимает вид

$$f(x) = \frac{\beta^\alpha \cdot x^{\alpha-1} \cdot e^{-\beta x}}{\Gamma(\alpha)}, \quad (8)$$

где  $f(x)$  – плотность вероятности коэффициента парусности семян;  
 $x$  – текущее значение коэффициента парусности,  $m^{-1}$ ;  
 $\Gamma(\alpha)$  – гамма-функция от  $\alpha$ .

График плотности случайной величины по выражению (8) представлен на рисунке 2.

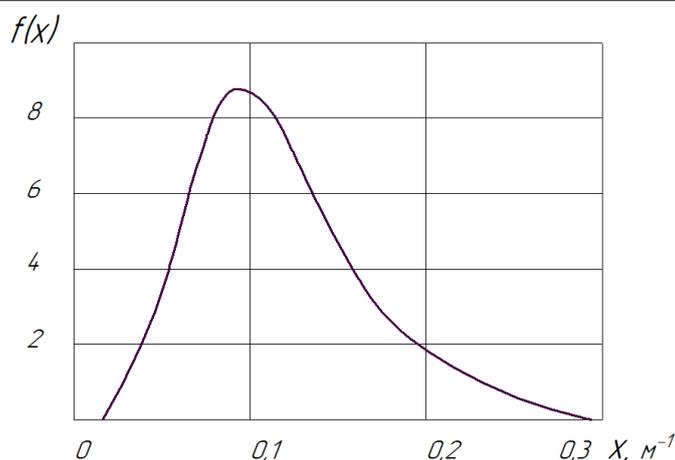


Рис. 2. График плотности распределения коэффициента парусности семян пшеницы

Для интервальной оценки распределения показателя парусности определим доверительный интервал генеральной средней при 95% уровне достоверности [8]. Ошибка выборочной средней определяется по выражению

$$S_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{N}}, \quad (9)$$

где  $S_{\bar{x}}$  – ошибка выборочной средней,  $\text{м}^{-1}$ ;

$\sigma$  – среднее квадратичное отклонение коэффициента парусности,  $\text{м}^{-1}$ ;

$N$  – количество учтенных граммов в навеске зерен.

Ошибка выборочной средней  $S_{\bar{x}} = 0,0029 \text{ м}^{-1}$ , что в процентном отношении составляет

$$S_{\bar{x}} \% = \frac{S_{\bar{x}}}{\bar{x}} \cdot 100 = 2,6\% .$$

По таблицам критерия  $t$  [8] при числе степеней свободы  $N - 1 = 299$  и 95% уровне доверительной вероятности определяем  $t_{0,05} = 1,96$ , при этом доверительный интервал составляет

$$\bar{x} \pm t_{0,05} S_{\bar{x}} = 0,112 \pm 1,96 \cdot 0,0029 = 0,112 \pm 0,0057 = (0,105 \div 0,117) \text{ м}^{-1}.$$

Для оценки соответствия опытных данных гамма-распределению коэффициента парусности по критерию Пирсона [7] составим сравнительную таблицу вероятностей попадания этого показателя в разряды статистического ряда (табл. 2).

Таблица 2. Сравнительные значения экспериментальных и теоретических данных по коэффициенту парусности семян пшеницы

$k_{ni}$	0,013	0,027	0,031	0,037	0,045	0,060	0,085	0,151	0,252
$m_i$	2,6	1,4	3,3	6,9	14,9	37,2	91,5	130,9	10,7
$Np_i$	2,096	1,198	2,994	5,988	13,174	33,533	86,527	138,922	14,371
$D$	0,504	0,202	0,306	0,912	1,726	3,667	4,973	8,02	3,671

Обозначения показателей в таблице 2:

$k_{ni}$  – разрядные значения коэффициента парусности,  $\text{м}^{-1}$ ;

$m_i$  – фактическая масса зерна в разрядах статистического ряда, г;

$Np_i$  – расчетная масса зерна в разрядах статистического ряда, г;

$D$  – разница показателей массы зерна, г.

Значение меры расхождения (критерий Пирсона) вычисляем по формуле

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^9 \frac{(m_i - Np_i)^2}{Np_i} = 2,639. \quad (10)$$

Число степеней свободы определяется как число разрядов минус число наложенных связей:  $r = 9 - 3 = 6$ . По таблице Пирсона определяем, что отклонения статистически полученных данных от теоретических появились от случайных факторов, не зависящих от принятой гипотезы, с вероятностью  $p = 88\%$ , то есть противоречия в принятой аппроксимации опытных данных не обнаружено.

Для оценки соответствия по критерию А.Н. Колмогорова [7] определяется максимальная разница статистической и теоретической вероятностей попадания случайной величины в разряды статистического ряда:  $D_{max} = 8,02/299,4 = 0,0267$ .

Далее вычисляется показатель  $\lambda$  (критерий А.Н. Колмогорова):

$$\lambda = D_{max} \sqrt{N} = 0,462.$$

По этому значению находим табличный показатель критерия согласия  $p(\lambda) = 0,97$ , что свидетельствует о совпадении теоретической аппроксимации и опытных данных.

### Заключение

Проведенные лабораторные исследования скорости витания и аналитически связанного с ней коэффициента парусности семян пшеницы показали, что коэффициент парусности в качестве признака аэродинамической очистки от засорителей целесообразно аппроксимировать случайной величиной с плотностью вероятности, описываемой законом гамма-распределения, что повышает точность настройки зерноочистителей и прогноза ожидаемого качества сепарации.

### Список источников

1. Анисимов А.В. Результаты экспериментального определения аэродинамических свойств зерна пшеницы и его оболочек // Наука и образование. 2020. Т. 3, № 4. С. 11–15.
2. Аэродинамические свойства зерна [Электронный ресурс] // Все о зерне. Технологии хранения и переработки. URL: <https://visacon.ru/zernovedenie/1842-aerodinamicheskie-svoystva-zerna.html> (дата обращения: 03.12.2022).
3. Василенко В.В., Гиевский А.М., Чернышов А.В. Теория и расчет рабочих органов сельскохозяйственных машин: учебное пособие для студентов высших учебных заведений. 2-е изд., испр. и доп. Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2019. 194 с.
4. Вентцель Е.С. Теория вероятностей: учебник. 4-е изд., стереотипное. Москва: Наука, 1969. 576 с.
5. Гиевский А.М. Совершенствование пневмосепарирования зерна машинами серии ОЗФ // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2008. № 10. С. 5.
6. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): учебное пособие. 5-е изд., доп. и перераб. Москва: Агропромиздат, 1985. 351 с.
7. Корн Г.А., Корн Т.М. Справочник по математике для ученых и инженеров. Определения, теоремы, формулы; пер. со 2-го амер. изд., перераб. под общ. ред. И.Г. Араманича. Москва: Наука, 1974. 832 с.
8. Личко Н.М. Стандартизация и подтверждение соответствия сельскохозяйственной продукции: учебник для студентов вузов. Москва: ДеЛи плюс, 2013. 512 с.
9. Логачев И.Н., Логачев К.И. Аэродинамические основы аспирации: монография. Санкт-Петербург: Химиздат, 2005. 659 с.
10. Тарабрин Д.С., Тарасенко А.П., Гиевский А.М. Распределение зернового вороха в вертикальном пневмосепарирующем канале // Наука: вчера, сегодня, завтра: материалы международной научно-практической конференции (Воронеж, 05–09 сентября 2016 г.). Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2016. С. 239–243.
11. Трубилин Е.И., Федоренко Н.Ф., Тлишев А.И. Механизация послепроходной обработки зерна и семян: учебное пособие для студентов сельскохозяйственных вузов. Краснодар: ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ, 2009. 96 с.

### References

1. Anisimov A.V. Rezul'taty eksperimental'nogo opredeleniya aerodinamicheskikh svoystv zerna pshe-nitsy i ego obolochek [Results of the experimental determination of aerodynamic properties of wheat grain and its seed coats]. *Nauka i obrazovanie = Science and Education*. 2020;3(4):11-15. (In Russ.).

2. Aerodinamicheskie svoystva zerna. Sait "Vse o zerne. Tekhnologii khraneniya i pererabotki" [Aerodynamic properties of grain. Website "All about grain. Storage and Processing Technologies"]. URL: <https://visacon.ru/zernovedenie/1842-aerodinamicheskie-svoystva-zerna.html>. (In Russ.).
3. Vasilenko V.V., Gievskiy A.M., Chernyshov A.V. Teoriya i raschet rabochnykh organov sel'skokhozyajstvennykh mashin: uchebnoe posobie dlya studentov vysshikh uchebnykh zavedenij. 2-e izd., ispr. i dop. [Theory and calculation of working bodies of agricultural machines: Textbook for students of higher education establishments. 2<sup>nd</sup> edition, revised and enlarged]. Voronezh: Voronezh State Agrarian University Press; 2019. 194 p. (In Russ.).
4. Ventsel E.S. Teoriya veroyatnostej: uchebnik. 4-e izd., stereotipnoe [Probability Theory: textbook. 4<sup>th</sup> edition, stereotype]. Moscow: Nauka Press; 1969. 576 p. (In Russ.).
5. Gievskiy A.M. Sovershenstvovaniye pnevmoseparirovaniya zerna mashinami serii OZF [Improving grain pneumatic separating by machines of the OZF series]. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyajstva = Mechanization and electrification of agriculture*. 2008;10:5. (In Russ.).
6. Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy): uchebnoe posobie. 5-e izd., dop. i pererab. [Field-plot Technique (with the Basics of Statistical Processing of Results of Research and Experiments): study guide. 5<sup>th</sup> edition, revised and enlarged]. Moscow: Agropromizdat; 1985. 351 p. (In Russ.).
7. Korn G.A., Korn T.M. Spravochnik po matematike dlya uchenykh i inzhenerov. Opredeleniya, teoremy, formuly; per. so 2-go amer. izd., pererab. pod obshchej redaktsiej I.G. Aramanovicha [Mathematical Handbook for Scientists and Engineers. Definitions, Theorems and Formulas for Reference and Review. Second edition, revised and enlarged]. Moscow: Nauka Press; 1974. 832 p. (In Russ.).
8. Lichko N.M. Standartizatsiya i podtverzhenie sootvetstviya sel'skokhozyajstvennoj produktsii: uchebnik dlya studentov vuzov [Standardization and conformity assessment of agricultural products: textbook for university students]. Moscow: DeLi plus Press; 2013. 512 p.
9. Logachev I.N., Logachev K.I. Aerodinamicheskie osnovy aspiratsii: monografiya [Aerodynamic foundations of aspiration: monograph]. Saint Petersburg: Himizdat; 2005. 659 p.
10. Tarabrin D.S., Tarasenko A.P., Gievsky A.M. Raspredeleniye zernovogo vorokha v vertikalnom pnevmosepariruyushchem kanale [Distribution of grain heap in the vertical pneumoseparating channel]. Nauka: vchera, segodnya, zavtra: materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii (Voronezh, 05–09 sentyabrya 2016 g.) [Science: Yesterday, Today, Tomorrow: Proceedings of International Research-to-Practice Conference (Voronezh, September 05-09, 2016)]. Voronezh: Voronezh State Agrarian University Press; 2016:239-243. (In Russ.).
11. Trubilin E.I., Fedorenko N.F., Tlischev A.I. Mekhanizatsiya posleubrochnoy obrabotki zerna i semyan: uchebnoe posobie dlya studentov sel'skokhozyajstvennykh vuzov [Mechanization of post-harvest processing of grain and seeds: textbook for students of agricultural universities]. Krasnodar: Kuban State Agrarian University Press; 2009. 96 p.

#### **Информация об авторах**

V.V. Василенко – доктор технических наук, профессор кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», [vladva.vasilenko@yandex.ru](mailto:vladva.vasilenko@yandex.ru).

V.I. Оробинский – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, зав. кафедрой сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей, декан агроинженерного факультета ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», [main@agroeng.vsau.ru](mailto:main@agroeng.vsau.ru).

S.V. Василенко – кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной механики ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», [tuli-fruli@mail.ru](mailto:tuli-fruli@mail.ru).

D.N. Посохов – аспирант кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», [smachin@agroeng.vsau.ru](mailto:smachin@agroeng.vsau.ru).

#### **Information about the authors**

V.V. Vasilenko, Doctor of Engineering Sciences, Professor, the Dept. of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, [vladva.vasilenko@yandex.ru](mailto:vladva.vasilenko@yandex.ru).

V.I. Orobinsky, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Dept. of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Dean of the Faculty of Rural Engineering, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, [main@agroeng.vsau.ru](mailto:main@agroeng.vsau.ru).

S.V. Vasilenko, Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Applied Mechanics, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, [tuli-fruli@mail.ru](mailto:tuli-fruli@mail.ru).

D.N. Posokhov, Postgraduate Student, the Dept. of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, [smachin@agroeng.vsau.ru](mailto:smachin@agroeng.vsau.ru).

**Статья поступила в редакцию 20.02.2023; одобрена после рецензирования 23.03.2023; принята к публикации 05.04.2023.**

**The article was submitted 20.02.2023; approved after reviewing 23.03.2023; accepted for publication 05.04.2023.**

© Василенко В.В., Оробинский В.И., Василенко С.В., Посохов Д.Н., 2023

---

---