

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗЕРНОВОГО ВОРОХА ПО ШИРИНЕ ЗЕРНООЧИСТИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ ПРИЁМНО-РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫМ УСТРОЙСТВОМ ГРАВИТАЦИОННОГО ТИПА

---

Оробинский Владимир Иванович  
Гиевский Алексей Михайлович  
Баскаков Иван Васильевич  
Ворохобин Андрей Викторович  
Чернышов Алексей Викторович

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I

Вращающиеся рабочие органы в зерноочистительных машинах вызывают повышенное повреждение зерна. Применение в сепараторах приёмно-распределительных устройств гравитационного типа позволит снизить интенсивность механического воздействия на зерновку. Кроме того, в процессе работы происходит расслоение вбрасываемого зернового вороха по плотности, что положительно сказывается на работе пневмосистемы сепараторов. Однако вызывает беспокойство возможное неравномерное распределение компонентов зернового вороха по ширине. В результате проведения экспериментальных исследований установлено, что в средней части по оси машины количество зернового вороха, вбрасываемого в сепаратор, больше расчётных значений. По мере удаления от центра до 0,35–0,45 м количество вороха практически сравнивается с расчётным значением. Наиболее удалённые участки имеют отклонение уже в меньшую сторону. При удельной подаче зернового вороха 1 кг/с, что соответствует производительности машины 3,6 т/ч, отклонение от среднего расчётного значения колеблется в диапазоне от минус 0,03 до 0,04 кг/(с·дм). При росте удельной подачи с 1,0 до 4,5 кг/с среднеквадратическое отклонение распределения зернового вороха по ширине увеличивается более высокими темпами (с 0,03 до 0,08 кг/с). Дальнейшее повышение удельной подачи (с 4,5 до 8 кг/с) способствует увеличению данного отклонения только на 0,02 кг/с. Максимальных значений коэффициент вариации распределения зернового вороха по ширине сепаратора (0,25–0,27) достигает при удельной подаче 4–5 кг/с. Полученные данные можно считать удовлетворительными. Причём компоненты с большей скоростью витания, к которым относятся полноценные зерновки, распределяются преимущественно в центральной части машины, а компоненты вороха, имеющие меньшую плотность (все незерновые примеси), а также щуплые и биологически неполноценные зерновки всплывают в верхние слои зернового вороха и, как правило, перемещаются на периферию зоны распределения.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** зерноочистительная машина, приёмно-распределительное устройство гравитационного типа, зерновой ворох, равномерность распределения, незерновые примеси.

## GRAIN HEAP DISTRIBUTION ALONG THE WIDTH OF GRAIN SEPARATOR BY A GRAVITY-TYPE RECEIVING AND DISTRIBUTING UNIT

Orobinsky Vladimir I.  
Gievsky Aleksey M.  
Baskakov Ivan V.  
Vorokhobin Andrey V.  
Chernyshov Aleksey V.

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great

Rotating working bodies of grain separators contribute to increased grain damage. The use of a gravity-type receiving and distributing device allows reducing the intensity of the mechanical impact on the kernel. In addition,

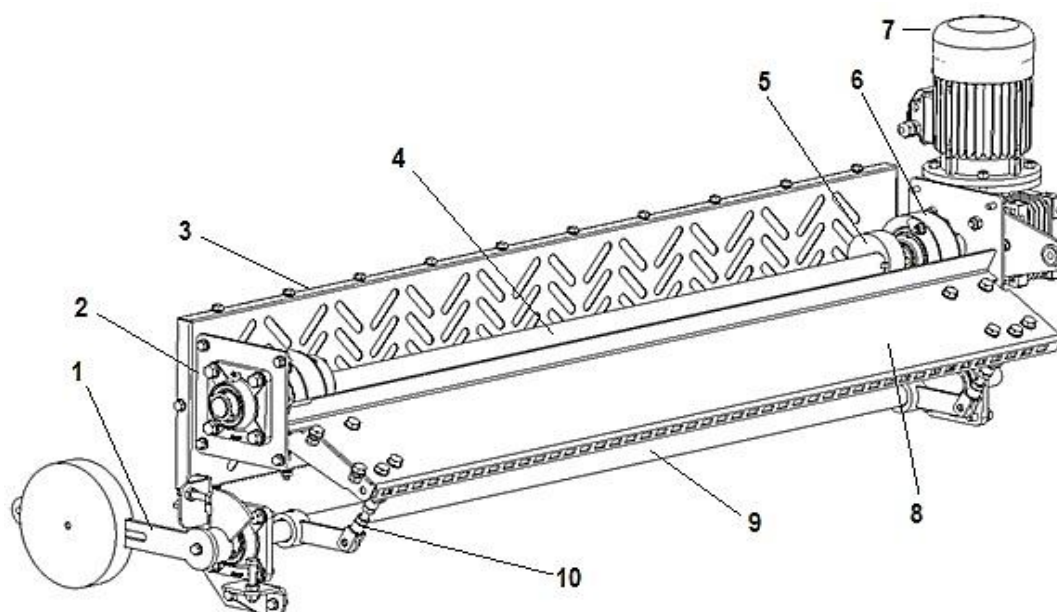
there occurs density stratification of an incoming grain heap making positive impact on the process of the operation of the pneumatic system of the separator. However, the possible uneven distribution of the components of the grain heap by width is worrisome. Due to experimental results, it was found that in the middle part along the axis of the machine, the amount of an incoming grain heap is greater than the calculated values. With distance from the center of 0.35–0.45 m, the amount of the pile is practically made equal to the calculated value. The most remote areas have a smaller deviation. When the specific feed of an incoming grain heap is 1 kg/s, which corresponds to the productivity of the machine of 3.6 t/h, the deviation from the average calculated value ranges from minus 0.03 to 0.04 kg/(s·dm). With an increase in the specific feed from 1.0 to 4.5 kg/s, the standard deviation of the grain heap distribution by width increases at a higher rate (from 0.03 to 0.08 kg/s). A further increase in the specific feed (from 4.5 to 8 kg/s) contributes to an increase in this deviation by only 0.02 kg/s. At the same time, the maximum values of the coefficient of variation of the grain heap distribution by width of the separator (0.25–0.27) are reached with a separate feed of 4–5 kg/s. The data obtained can be considered satisfactory. At the same time, the components with a higher terminal velocity, which include full-value kernels, are distributed mainly in the central part of the machine, and the components of the heap with a lower density, which include all tailings and materials other than grain, such as spare and biologically inferior kernels, are removed into the upper layers of the grain heap, and as a rule, are carried out to the periphery of the distribution zone.

KEYWORDS: grain separator, gravity-type receiving and distributing unit, grain heap, equatability of distribution, materials other than grain.

**В** последнее время ведущие отечественные и зарубежные компании отказываются от установки на воздушно-решётные зерноочистительные машины распределителей зернового вороха с активными рабочими органами. Это объясняется желанием снизить повреждение зерна сепараторами до минимума [4, 6, 8, 10]. При этом предпочтение отдаётся приёмно-распределительным устройствам гравитационного типа, оснащённым подающим наклонным виброклапаном. Так как равномерность распределения зернового вороха приёмно-распределительным устройством оказывает влияние на эффективность работы всей зерноочистительной машины, такие распределители устанавливаются на зерноочистительные машины фирм Westrup, Cimbria, Buhler, ООО «Воронежсельмаш», производительность которых в режиме первичной очистки составляет 80 и более т/ч [1, 3].

К преимуществам приёмно-распределительных устройств гравитационного типа относятся отсутствие в конструкции вращающихся рабочих органов, которые повреждают зерно, и расслоение вбрасываемого зернового вороха по плотности, что положительно сказывается на работе пневмосистемы сепараторов [2, 5, 7, 9]. Однако имеются малоизученные моменты функционирования подобных механизмов. В частности, возможно неравномерное распределение компонентов зернового вороха по ширине зерноочистительной машины в зависимости от их плотности. С целью подтверждения эффективности работы приёмно-распределительных устройств гравитационного типа в воздушно-решётных сепараторах в ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ были проведены соответствующие исследования.

Исследуемое приёмно-распределительное устройство (рис. 1) как отдельный модуль устанавливается и закрепляется на канале дорешётной очистки сепаратора, обеспечивая подачу в него зернового вороха, распределённого по ширине аспирационного канала. Основным элементом конструкции является виброклапан 8, установленный на эксцентриковом валу 4, который связан системой тяг и рычагов с грузовым клапаном 1. Причём груз можно перемещать по пазу и фиксировать в определённом положении. В действие механизм приводится посредством применения мотора-редуктора 7 марки 9МЧ-50-140-56-М1-380-У3, оснащённого электродвигателем мощностью 0,55 кВт. Частота вращения выходного вала составляет  $140 \text{ мин}^{-1}$ .



**Рис. 1. Приёмно-распределительное устройство гравитационного типа:**  
 1 – грузовой клапан с рычагом; 2 – подшипниковый узел эксцентрикового вала;  
 3 – задняя стенка с воздухозаборными окнами; 4 – эксцентриковый вал;  
 5 – противовес; 6 – рычаг клапана; 7 – мотор-редуктор привода вала эксцентриков;  
 8 – виброклапан; 9 и 10 – тяга связи вала грузового клапана с виброклапаном

Принцип работы приёмно-распределительного устройства заключается в следующем. Зерновой ворох через приёмную горловину верхнего кожуха поступает на виброклапан 8 (рис. 1), где под действием вертикальных и горизонтальных колебаний растекается по его поверхности. При этом на частицы действует сила тяжести и сила инерции от вибрации. За счёт этого установленный под определённым углом наклона виброклапан 8, колеблющийся с частотой около  $140 \text{ мин}^{-1}$  и амплитудой  $0,006 \text{ м}$ , обеспечивает подачу зернового вороха в зазор между ним и направляющей пластиной. Размер щели зависит от положения груза на рычаге вала грузового клапана 1. Сила тяжести груза и создаваемый им крутящий момент через тяги 10 передаются с двух сторон на рычаги 6 виброклапана 8 и уравниваются весом слоя зерна на самом клапане. Поэтому зерновой ворох, совершая плоскопараллельное перемещение, через образовавшийся зазор подаётся в пневмосепарирующий канал сепаратора.

При проведении экспериментальных исследований приёмно-распределительное устройство устанавливалось отдельно от пневмосистемы зерноочистительной машины. При этом для сбора зернового вороха был изготовлен приёмник, разделённый перегородками на 15 одинаковых отсеков шириною  $0,1 \text{ м}$ , центр которого совпадал с осью симметрии машины. Остальные отсеки по мере удаления вправо и влево были расположены на одинаковом расстоянии. Каждую из 15 частей приёмника можно было разгружать отдельно, что позволило регистрировать параметры содержимого за определённое время. Полученный материал каждого отсека взвешивали и сравнивали с расчётным значением.

Подачу зернового вороха изменяли перемещением груза на рычаге грузового клапана и устанавливали от  $1,0$  до  $8,0 \text{ кг/с}$ , что соответствовало производительности машины от  $3,6$  до  $28,8 \text{ т/ч}$ . Для всех исследуемых вариантов были построены диаграммы отклонения удельной подачи зернового вороха по мере удаления приёмника от центра машины.

Для примера на рисунке 2 приведены средние данные отклонения удельной подачи зернового вороха  $\Delta q$ ,  $\text{кг}/(\text{с} \cdot \text{дм})$  при производительности  $q_p = 3,6 \text{ т/ч}$ .

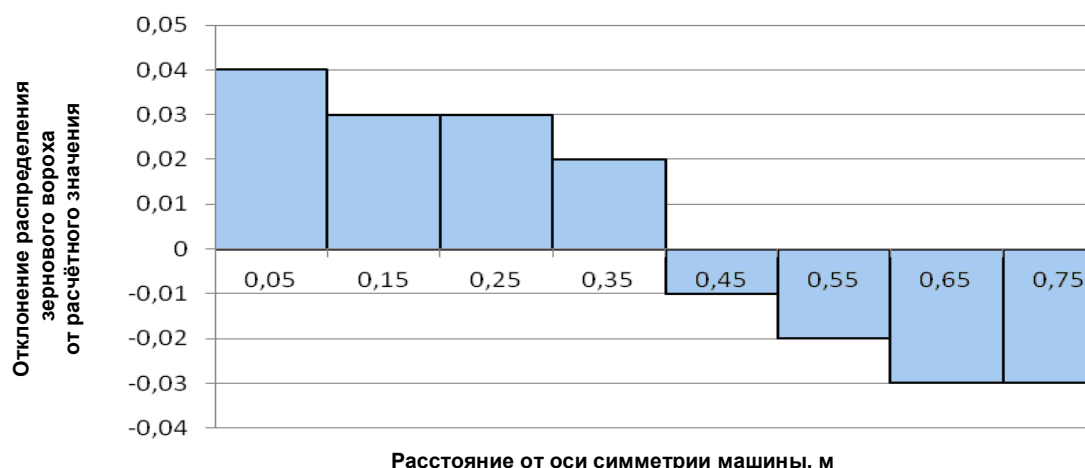


Рис. 2. Диаграмма отклонения распределения зернового вороха по ширине машины от расчётного значения при подаче  $q_p = 0,067$ , кг/(с·дм)

Анализ данных, приведённых на рисунке 2, показывает, что в средней части по оси машины количество зернового вороха, подаваемого исследуемым приёмно-распределительным устройством при заданных параметрах, больше расчётного значения, и отклонение достигает 0,04 кг/(с·дм) при расчётных значениях  $q_p = 0,067$  кг/(с·дм). По мере удаления от центра до 0,35–0,45 м удельная подача в соответствующих отсеках практически сравнивается с расчётным значением. Наиболее удалённые крайние части приёмника имели отклонение уже в меньшую сторону от среднего расчётного значения до 0,03 кг/(с·дм). Следовательно, при заданных параметрах отклонение от среднего расчётного значения колеблется в диапазоне от –0,03 до –0,04 кг/(с·дм).

Для оценки эффективности распределения зернового вороха по ширине зерноочистительной машины в зависимости от производительности, или удельной подачи, исследуемого приёмно-распределительного устройства построены соответствующие графики. На рисунке 3 приведена графическая зависимость изменения среднеквадратического отклонения распределения зернового вороха виброклапаном гравитационного приёмно-распределительного устройства по ширине зерноочистительной машины от удельной подачи при её изменении от 1,0 до 8,0 кг/с.

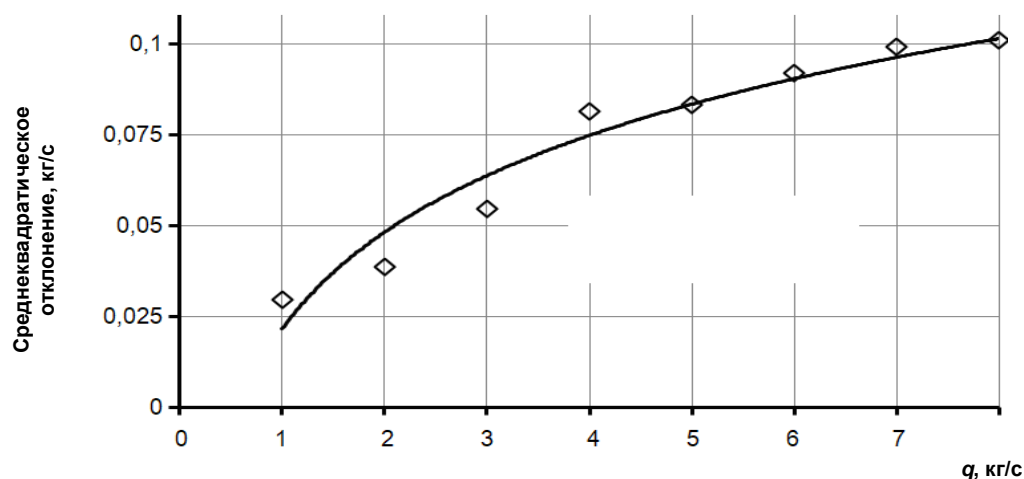
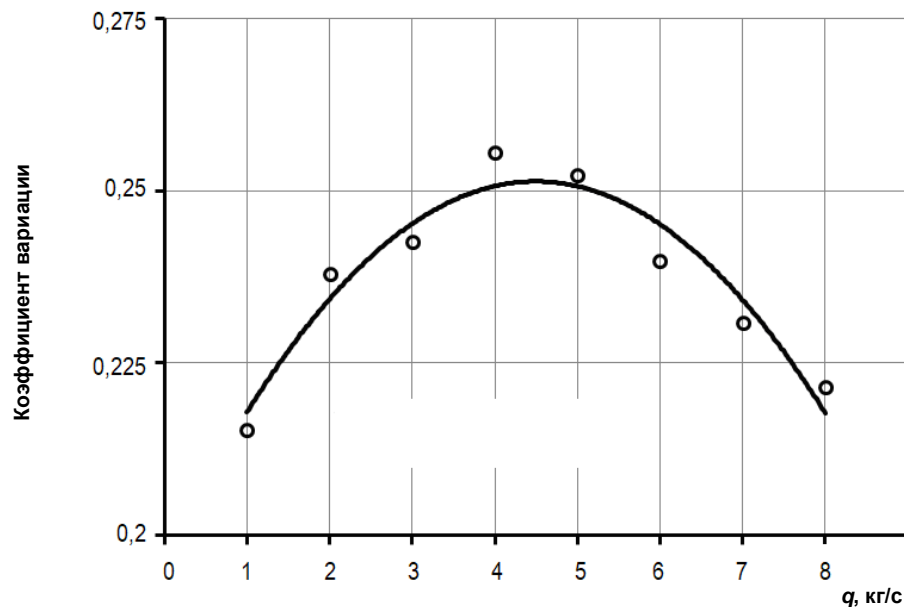


Рис. 3. Изменение среднеквадратического отклонения распределения зернового вороха виброклапаном гравитационного приёмно-распределительного устройства по ширине сепаратора от удельной подачи ( $q$ )

Анализ данных, приведённых на рисунке 3, показал, что с увеличением производительности машины, или удельной подачи, среднеквадратическое отклонение распределения зернового вороха виброклапаном гравитационного приёмно-распределительного

устройства по ширине машины растёт, достигая значения, близкого к 0,1 кг/с. При росте удельной подачи с 1,0 до 4,0–4,5 кг/с среднеквадратическое отклонение распределения зернового вороха по ширине увеличивается более высокими темпами (с 0,03 до 0,08 кг/с).

Так как повышение удельной подачи (с 4,5–5,0 до 7,0–8,0 кг/с) способствует увеличению этого отклонения только на 0,02 кг/с, был проанализирован второй показатель для оценки равномерности распределения зернового вороха виброклапаном гравитационного приёмно-распределительного устройства по ширине сепаратора – изменение коэффициента вариации, который приведён на рисунке 4.



**Рис. 4. Изменение коэффициента вариации распределения зернового вороха виброклапаном гравитационного приёмно-распределительного устройства по ширине сепаратора от удельной подачи (q)**

Как видно из данных рисунка 4, максимальных значений коэффициент вариации распределения зернового вороха по ширине сепаратора (0,25–0,27) достигает при удельной подаче 4–5 кг/с. Полученные данные можно считать удовлетворительными и подчиняющимися нормальному закону распределения случайной величины. Увеличение удельной подачи до 6–8 кг/с или производительности машины с 20 до 28,8 т/ч снижает разброс отклонений распределения зернового вороха по ширине сепаратора до средних значений распределения, что подтверждается значением коэффициента вариации (0,235–0,22). Данное распределение зернового вороха по ширине пневмосистемы сепаратора получено без учёта его состава.

Для определения влияния распределения зернового вороха виброклапаном по ширине в зависимости от плотности, или аэродинамических свойств, отобранные образцы разделялись на парусном классификаторе по скорости витания на классы:

- класс щуплого зерна и легковесных примесей, имеющий скорость витания до 7,5 м/с;
- класс полноценного зерна и тяжёлых примесей, имеющих скорость витания более 7,5 м/с.

При этом содержание щуплого неполноценного зерна и легковесных примесей в исходном зерновом ворохе составляло 9,5%.

На рисунке 5 приведена графическая зависимость распределения зернового вороха по ширине сепаратора с учётом различий в плотности и скорости витания.

Из графических зависимостей, приведённых на рисунке 5, видно, что компоненты с большей скоростью витания, к которым относятся полноценные зерновки, распре-

деляются преимущественно в центральной части машины с учётом их большей плотности. Это можно объяснить расслоением вороха по плотности в результате вибротранспортирования и их перемещением в нижние слои за счёт эффекта псевдооживления. При этом экспериментальные данные удовлетворительно описываются полиномом второй степени при уровне достоверности  $R^2 = 0,988$ :

$$M_n = -3,333 \cdot L^2 + 0,0643 \cdot L + 10,908,$$

где  $L$  – расстояние от оси машины, м.

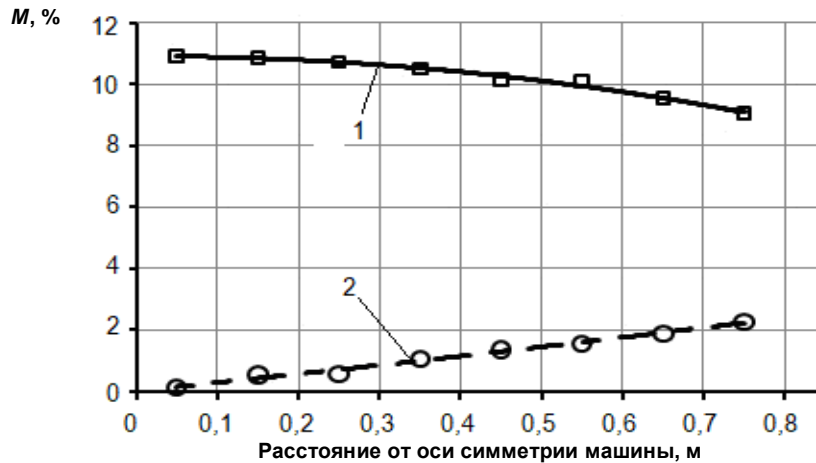


Рис. 5. Распределение зернового вороха виброклапаном гравитационного приёмно-распределительного устройства по ширине сепаратора с учётом различия в скорости витания компонентов при удельной подаче 5,5 кг/с:  
1 – частицы зернового вороха со скоростью витания  $V > 7,5$  м/с;  
2 – частицы зернового вороха, имеющие скорость витания  $V \leq 7,5$  м/с

Компоненты вороха, имеющие меньшую плотность, к которым относятся все незерновые примеси, а также щуплые и биологически неполноценные зерновки, всплывают в верхние слои зернового вороха, и, как правило, имея большую скорость по сравнению с нижними слоями, перемещаются на периферию зоны распределения. Поэтому количество этих фракций больше в дальних от оси распределения сборниках. При этом экспериментальные данные по распределению этой фракции удовлетворительно описываются полиномом второй степени при уровне достоверности  $R^2 = 0,988$ :

$$M_n = 0,369 \cdot L^2 + 2,683 \cdot L - 0,0018.$$

Следовательно, можно предположить, что разное сопротивление зернового слоя и вызванное этим различие в скорости воздушного потока по ширине пневмосистемы могут привести к снижению полноты разделения вороха на фракции пневмосистемой дорешётной очистки.

Таким образом, распределение зернового вороха виброклапаном по ширине в зависимости от плотности, или аэродинамических свойств компонентов, различно и зависит в большей степени от их расслоения по высоте при движении в направлении уклона поверхности виброклапана, которое совпадает с направленностью колебаний. За счёт расслоения компоненты с большей скоростью витания, к коим относятся полноценные зерновки, распределяются больше в центральной части сепаратора с учётом их большей плотности. Компоненты вороха, имеющие меньшую плотность, к которым относятся все незерновые примеси, а также щуплые и биологически неполноценные зерновки, всплывают в верхние слои зернового вороха, и, как правило, имея большую скорость по сравнению с нижними слоями, перемещаются на периферию зоны распределения. Поэтому количество этих фракций больше в дальних от оси распределения сборниках. Это необходимо учитывать при настройках приёмно-распределительных устройств гравитационного типа.

## Библиографический список

1. Агеев А.А. Совершенствование процесса загрузки зерноочистительных агрегатов : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / А.А. Агеев. – Воронеж, 2003. – 145 с.
2. Ахматов А.А. Совершенствование процесса распределения зернового вороха по ширине рабочих органов воздушно-решетных зерноочистительных машин : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / А.А. Ахматов. – Воронеж, 2018. – 155 с.
3. Баскаков И.В. Зерноочистительные машины и элеваторное оборудование производства ООО «Воронежсельмаш» : учеб. пособие / И.В. Баскаков, Р.Н. Карпенко, В.И. Оробинский. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2018. – 307 с.
4. Завражнов А.И. Модернизация технологии подработки зерна путем применения авторегулируемых делителей потока сыпучих материалов / А.И. Завражнов, К.Н. Тишанинов // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2008. – № 3. – С. 56–58.
5. Патрин В.А. Графоаналитический метод определения энергии инерционного сдвигового течения зерновой среды на плоских рабочих органах сортировальных машин / В.А. Патрин // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2008. – № 10. – С. 86–94.
6. Патрин В.А. Моделирование процесса взаимодействия зерновой среды с рабочими органами сортировальных машин / В.А. Патрин // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2008. – № 6. – С. 107–115.
7. Тишанинов Н.П. Классификация и анализ перспектив создания делителей потока сыпучих материалов / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2013. – № 5. – С. 75–83.
8. Тишанинов Н.П. Модернизация импортных зерноочистительных технологий / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2019. – № 4. – С. 12–18.
9. Тишанинов Н.П. Новые делители потока сыпучих материалов / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин, К.Н. Тишанинов // Наука в центральной России. – 2013. – № 1. – С. 30–36.
10. Obtaining high-quality grain through the use of fractional technology for its cleaning / V.I. Orobinsky, A.M. Gievsky, V.A. Gulevsky, I.V. Baskakov, A.V. Chernyshov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Conference on Production and Processing of Agricultural Raw Materials (P2ARM 2020) (Russia, Voronezh, 26-29 February, 2020). – IOP Publishing Ltd, 2021. – Vol. 640. – No. 022046. DOI: 10.1088/1755-1315/640/2/022046.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

### Принадлежность к организации

Владимир Иванович 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», Россия, г. Воронеж, e-mail: main@agroeng.vsau.ru.

Алексей Михайлович Гиевский – доктор технических наук, профессор кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: aleksej.gievskij@mail.ru.

Иван Васильевич Баскаков – доктор сельскохозяйственных наук, доцент кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: vasich2@yandex.ru.

Андрей Викторович Ворохобин – кандидат технических наук, доцент кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: dogruzka@rambler.ru.

Алексей Викторович Чернышов – кандидат технических наук, доцент кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: lexa-c@yandex.ru.

Дата поступления в редакцию 20.04.2021

Дата принятия к печати 28.05.2021

## AUTHOR CREDENTIALS

### Affiliations

Vladimir 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, Russia, Voronezh, e-mail: main@agroeng.vsau.ru.

Aleksey M. Gievsky, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Dept. of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: aleksej.gievskij@mail.ru.

Ivan V. Baskakov, Doctor of Agricultural Sciences, Docent, Dept. of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: vasich2@yandex.ru.

Andrey V. Vorokhobin, Candidate of Engineering Sciences, Docent, Dept. of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: dogruzka@rambler.ru.

Aleksey V. Chernyshov, Candidate of Engineering Sciences, Docent, Dept. of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: lexa-c@yandex.ru.

Received April 20, 2021

Accepted after revision May 28, 2021