

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОСЛЕРЕШЕТНОЙ ПНЕВМОСЕПАРАЦИИ ЗЕРНОВОГО ВОРОХА В ЗЕРНООЧИСТИТЕЛЬНЫХ МАШИНАХ

Дмитрий Сергеевич Тарабрин

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I

Представлены результаты исследования по совершенствованию процесса послерешетной пневмосепарации зернового вороха в зерноочистительных машинах. В большинстве двухаспирационных зерноочистительных машин зерновой ворох поступает в канал второй аспирации, сваливаясь с нижнего яруса решетного стана, что не позволяет обеспечить равномерное распределение обрабатываемого вороха по глубине канала. Описано техническое решение «Устройство для послерешетной пневмосепарации зернового вороха», на которое получен патент РФ на полезную модель. Реализация процесса с использованием разработанного устройства позволяет повысить равномерность распределения обрабатываемого вороха в пневмоканале за счет использования питающего лотка со ступенчатой скатной поверхностью. Оптимальные параметры вертикального прямоугольного пневмосепарирующего канала были установлены теоретически. Экспериментальные исследования проводились на лабораторной установке, выполненной в соответствии с запатентованным техническим решением. Приведены результаты моделирования траекторий схода зернового вороха с различных скатных поверхностей подающего устройства. Исследование процесса схода зерновой массы с питающего лотка показало, что дальность полета частицы увеличивается (на 40 мм) при сходе с питающего лотка со ступенчатой скатной поверхностью. В результате сравнительного эксперимента по определению эффективности пневмосепарации зернового вороха в вертикальном аспирационном канале было установлено, что при вводе обрабатываемого материала разработанным устройством обеспечивается более равномерное его распределение в зоне сепарации, чем при вводе контрольным лотком с гладкой скатной поверхностью. На основании параметра массы 1000 семян можно сделать вывод, что эффективность выделения неполноценных зерен повышается при использовании разработанного устройства.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: пневмосепарация, пневмоканал, зерновой ворох, зерно, зерноочистительная машина, послерешетная аспирация.

## IMPROVEMENT OF THE PROCESS OF POST-SIEVING PNEUMOSEPARATION OF GRAIN HEAP IN GRAIN CLEANING MACHINES

Dmitriy S. Tarabrin

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great

The author presents the results of study of improvements in the process of post-sieving pneumoseparation of grain heap in grain cleaning machines. In most double-aspiration grain cleaning machines the grain heap is delivered to the second aspiration pipeline by dropping from the lower deck of the sieve pan, which does not allow for a uniform distribution of the processed heap over the deep portion of the pipeline. The author describes the technical solution as «The device for post-sieving pneumoseparation of grain heap», which was granted a utility model patent of the Russian Federation. Implementation of the process using the newly-developed device allows increasing the uniformity of distribution of the processed heap in the pneumatic pipeline due to the use of a feeding tray with a stepped inclined surface. The optimal parameters of the vertical rectangular pneumoseparation pipeline were determined theoretically. Experimental studies were carried out in the laboratory setup designed according to the patented technical solution. The author provides the results of simulation of tailing paths of the grain heap from various inclined surfaces of the feeding device. Studies of the process of grain movement from the feeding tray showed that the range of throw of a grain particle from the feeding tray with a stepped inclined surface increases by 40 mm. As a result of the comparative experiment on determining the efficiency of pneumoseparation of grain heap in a vertical aspiration pipeline it was determined that when the material was delivered by the developed device, a more uniform distribution in the separation zone was achieved than with the delivery by a control tray with a smooth inclined surface. Based on the parameter of weight of 1000 seeds it is concluded that due to the use of the newly-developed device the efficiency of separation of inferior grains can be increased.

KEY WORDS: pneumoseparation, pneumatic pipeline, grain heap, grain, grain cleaning machine, post-sieving aspiration.

Система послерешетной очистки двухаспирационных зерноочистительных машин часто бывает выполнена в виде вертикального пневмосепарирующего канала. В большинстве конструкций ввод зернового вороха в канал второй аспирации осуществляется пассивным способом, то есть зерно поступает в вертикальный пневмоканал самотеком, сваливаясь с нижнего яруса решетчатого стана концентрированной массой. Это не позволяет обеспечить равномерность распределения обрабатываемого вороха по глубине канала. В свою очередь, повышенная плотность зернового вороха при загрузке и связанное с этим увеличенное сопротивление массы воздушному потоку приводят к снижению качества, а следовательно, и эффективности пневмосепарации [1, 3, 15].

Проблему равномерности распределения сыпучего материала в канале второй аспирации большинства двухаспирационных машин исследователи решали, установив на вводе в пневмоканал устройство, обеспечивающее равномерное распределение материала по глубине канала. За последнее десятилетие было запатентовано несколько пневмосепараторов, имеющих в своей конструкции такие питатели. В большинстве запатентованных технических решений в качестве устройства ввода зернового вороха в канал применяются активные питатели, которые представляют собой вращающиеся валы различных форм и конструкций [4, 9, 10, 13].

Применение вышеописанных питающих устройств активного ввода зернового вороха во второй аспирации воздушно-решетных зерноочистительных машин может быть нерациональным из-за сложности конструкции самого питателя и выполнения ряда необходимых доработок системы послерешетной пневмосепарации для обеспечения эффективной работы аспирации зерноочистительной машины в целом [11, 14].

Использование активного питателя повлечет повышение приведенного уровня травмирования семян обрабатываемой культуры, что нежелательно при подготовке семенного материала [8, 12].

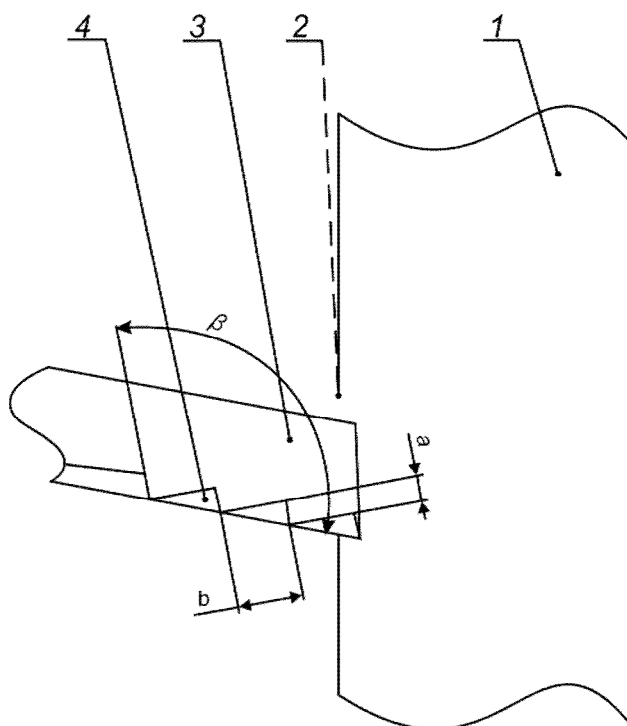


Рис. 1. Устройство для послерешетной пневмосепарации зернового вороха:  
 1 – пневмосепарирующий канал; 2 – окно для ввода зернового материала; 3 – питающий лоток;  
 4 – ступени;  $a$  – высота ступеней;  $b$  – ширина ступеней;  $\beta$  – угол наклона ступеней

В последнее время на кафедре сельскохозяйственных машин Воронежского ГАУ проводились исследования пневмосепарирующих систем, направленные на уменьше-

ние неравномерности распределения зернового вороха по глубине прямоугольного канала второй аспирации двухаспирационных воздушно-решетных машин. В результате было запатентовано устройство для послерешетной пневмосепарации зернового вороха (патент РФ № 166514) [7].

Данное техническое решение (рис. 1) направлено на оптимизацию процесса ввода зерновой массы в канал послерешетной аспирации и предназначено для совершенствования системы послерешетной пневмосепарации большинства известных воздушно-решетных зерноочистительных машин [7].

При использовании на воздушно-решетных зерноочистительных машинах устройства для послерешетной пневмосепарации зернового вороха питающий лоток 3 (рис. 1) устанавливается на нижней части решетного стана и будет колебаться вместе с ним. Такое решение позволяет избежать установки дополнительного привода, обеспечить равномерность загрузки и распределения зерновой массы в вертикальном пневмосепарирующем канале. При этом конструкция машины не усложняется.

Данное устройство работает следующим образом. Обрабатываемый материал после сортирования на решетных станах поступает в вертикальный пневмосепарирующий канал 1 послерешетной аспирации по питающему лотку 3. При движении по нему скорость зерновой массы приближается к линейной скорости движения лотка. Это приводит к ускорению массы при подаче в канал 1. При этом зерновая смесь под действием восходящего воздушного потока разделяется на составляющие. Выделенные легко-весные примеси и неполноценные зерновки выводятся в осадочную камеру зерноочистительной машины. Вывод очищенного зерна осуществляется через нижнюю часть канала 1.

Равномерность загрузки и распределения зерновой массы в канале обеспечивается ступенчатой поверхностью 4 питающего лотка 3, стенки которой имеют наклон  $\beta$ . При возвратно-поступательном движении контакт зерновой смеси со ступенями лотка 4 приводит к увеличению начальной скорости движения вороха, подаваемого в пневмосепарирующий канал 1, что позволяет обеспечить равномерность его загрузки. При взаимодействии обрабатываемого материала со ступенчатой поверхностью 4 подающего лотка 3 и соударении зерновок между собой частицы вороха отражаются под разными углами, тем самым образуя рассредоточенный веерообразный поток смеси в пневмоканале, обеспечивая равномерное распределение зернового вороха по площади сечения пневмосепарирующего канала 1. В результате соударения частиц между собой и отражения о стенки и ступени питающего лотка 3 зерновая масса увеличивается в объеме и подается в пневмоканал 1 с меньшей плотностью. После воздействия питающего лотка 3 на зерновой ворох воздушный поток извлекает легко-весные примеси и выносит их в осадочную камеру зерноочистительной машины.

Питающий лоток устройства для послерешетной пневмосепарации зернового вороха состоит из боковых стенок и скатной поверхности, которая имеет ступенчатый рельеф. Ступени лотка имеют высоту  $a$ , ширину  $b$  и угол наклона  $\beta$ . Параметры ступеней для разных культур будут отличаться [7].

Исследования проводились на лабораторной установке (рис. 2), выполненной в соответствии с запатентованным техническим решением. Она состоит из вертикального пневмосепарирующего канала 1, со встроенным в зоне сепарации смотровым окном 2, осадочной камеры 3, загрузочного устройства 4, радиального вентилятора 5, решетного стана 6, питающего лотка 7, приемного бункера 8 и пробоотборника 9.

Питающий лоток имеет набор сменных скатных поверхностей: гладкая скатная поверхность (контрольная); скатная поверхность с 3 ступенями высотой  $a = 2$  мм и шагом  $b = 25$  мм; скатная поверхность с 8 ступенями высотой  $a = 2$  мм и шагом  $b = 25$  мм; скатная поверхность с 3 ступенями высотой  $a = 4$  мм и шагом  $b = 25$  мм. Пробоотборник выполнен в виде короба, площадь поперечного сечения которого разделена параллельными перегородками по глубине.

Лабораторная установка работает следующим образом. Зерновой ворох подается загрузочным устройством 4 на решетный стан 6, при сходе с которого масса поступает на питающий лоток 7 и далее в пневмосепарирующий канал 1. В вертикальном пневмоканале 1 восходящий поток воздуха продувает зерновую смесь, унося легковесные примеси и неполноценные зерновки в осадочную камеру 3. Очищенное зерно опускается в приемный бункер 8.

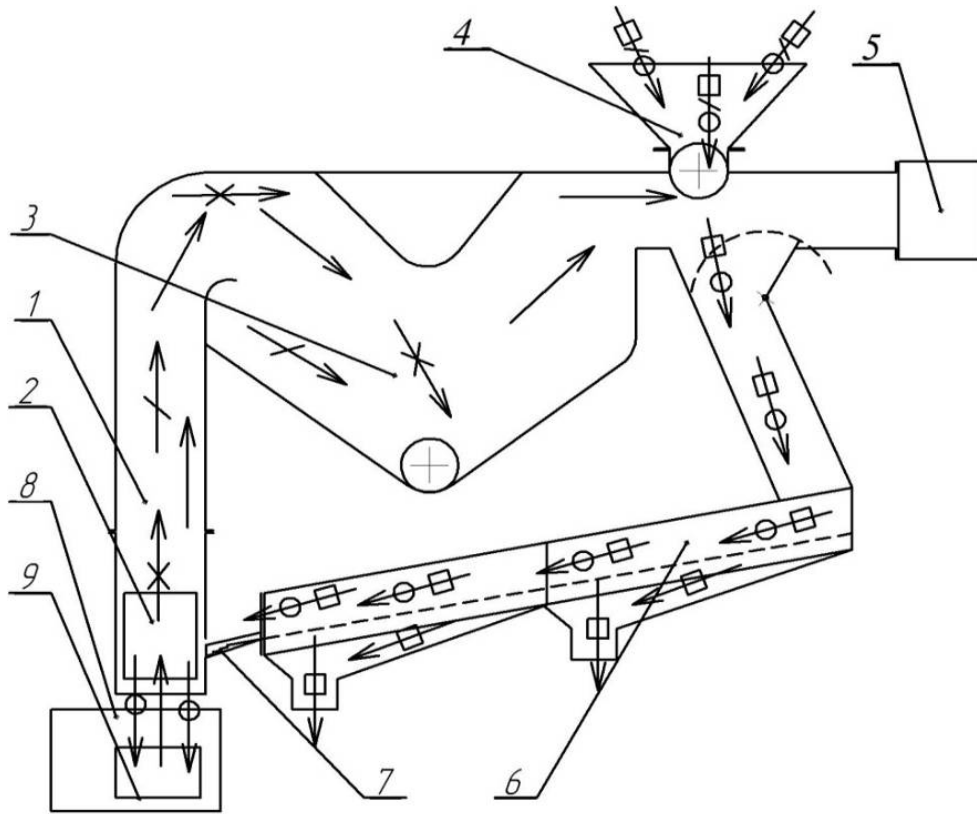


Рис. 2. Лабораторная установка: 1 – пневмоканал; 2 – смотровое окно; 3 – осадочная камера; 4 – загрузочное устройство; 5 – радиальный вентилятор; 6 – решетный стан; 7 – питающий лоток; 8 – приемный бункер; 9 – пробоотборник;  $\circ$  – зерновой ворох;  $\longrightarrow$  – воздушный поток;  $\times$  – неполноценные зерна;  $\nearrow$  – легковесные примеси;  $\square$  – очищенное зерно;  $\square$  – фуражное зерно

Для определения траектории схода зернового вороха со скатной поверхности снимали нижнюю часть пневмоканала. Параллельно движению вороха устанавливали масштабную сетку. При этом сбоку производили фото- и видеосъемку. Для оценки распределения зернового вороха по глубине пневмосепарирующего канала на его выходе из пневмоканала устанавливали пробоотборник. Обработку полученных результатов проводили с использованием известных методик [2, 5, 6].

Ряд ученых пришли к выводу, что эффективность воздушной очистки зависит от способа ввода зернового вороха в зону сепарации. При этом было отмечено, что зёрна, подаваемые в пневмосепарирующий канал, имеют первоначальную скорость, близкую к нулю, а их траектории представляют собой прямые линии, направленные вверх или вниз от точки ввода. А.И. Бурков, Н.П. Сычугов, В.В. Гортинский, А.Б. Демский, М.А. Борискин и др. исследовали подачу зернового вороха в пневмоканал активными питающими устройствами. В результате они установили, что зерно, подаваемое в канал, имеет начальную скорость, характеризуемую величиной и направлением [1, 3].

А.Б. Демский, М.А. Борискин и В.В. Гортинский в своих трудах дают конкретные рекомендации по совершенствованию конструкции аспирационных систем. Для вертикального прямоугольного пневмоканала угол ввода находится в пределах от 0 до +10°, а скорость – от 0,2 до 0,5 м/с. Оптимальная глубина канала при удельных нагрузках от 50 до 150 кг/(см·ч) равна 0,13...0,16 м, для высокопроизводительных машин (150-250 кг/(см·ч) – 0,20 м [3].

Первоначальные параметры рассматриваемого устройства были установлены по результатам предварительных исследований, которые были направлены на определение траектории схода зернового вороха со скатной поверхности питающих лотков различной конструкции (рис. 3). В качестве контрольного образца был принят питающий лоток, имеющий ровную скатную поверхность. Для сравнения исследовали траектории падения зерновой смеси с лотков с 8 ступенями высотой 2 мм и с 3 ступенями высотой 4 мм. Эксперименты проводились на ворохе озимой пшеницы сорта Крастал со средней массой 1000 зерен 30 г.

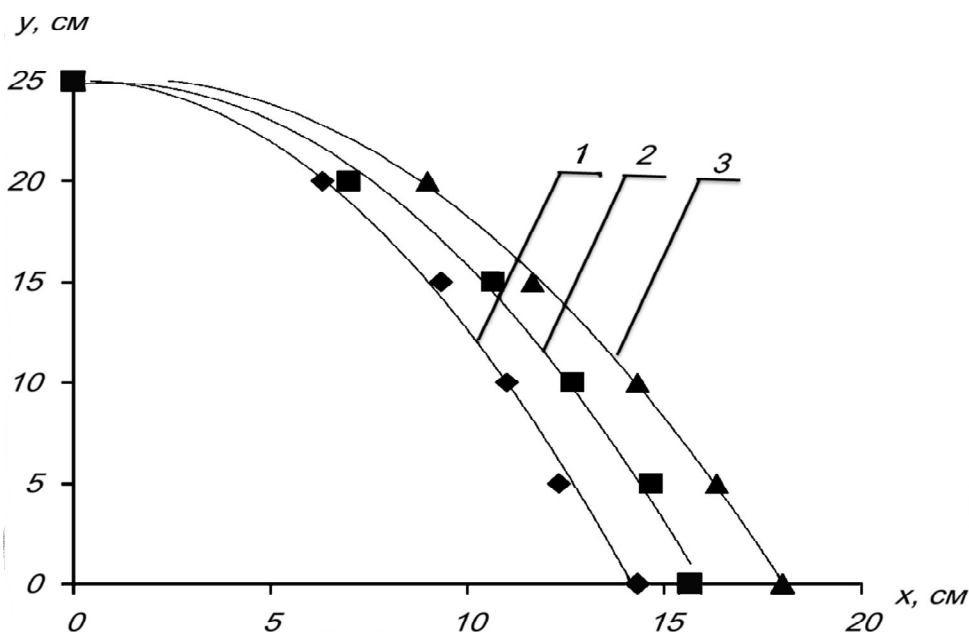
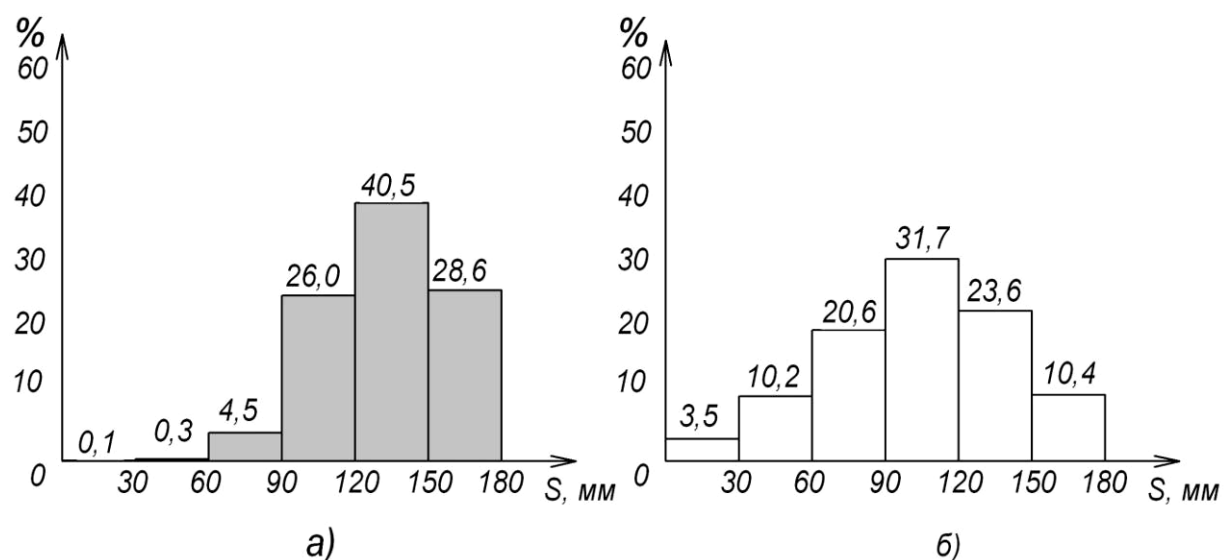


Рис. 3. Траектории схода зернового вороха с питающих лотков различной конструкции: 1 – гладкий лоток; 2 – ступенчатый лоток, 8 ступеней высотой 2 мм; 3 – ступенчатый лоток, 3 ступени высотой 4 мм

Проанализировав результаты исследований, можно отметить, что наличие ступеней на скатной поверхности питающего лотка, который осуществляет возвратно-поступательное движение, приводит к изменению траектории полета частиц в сторону увеличения радиуса кривизны, причем траектории схода с питающих лотков с 8 ступенями высотой 2 мм и с 3 ступенями высотой 4 мм оказались практически идентичными. Также было установлено, что на изменение траектории схода зернового вороха высота ступеней оказывает большее влияние, чем их количество.

Наибольшее изменение траектории полета отмечено у лотка с 3 ступенями высотой 4 мм. В сравнении с контрольным образцом дальность полета увеличилась почти на 40 мм при высоте падения 250 мм.

Также на базе лаборатории кафедры сельскохозяйственных машин был проведен сравнительный эксперимент по определению равномерности распределения зерновой смеси в вертикальном пневмоканале при подаче контрольным лотком и лотком с 3 ступенями высотой 4 мм (рис. 4).



**Рис. 4. Диаграмма распределения зернового вороха по глубине вертикального аспирационного канала: S – расстояние от точки ввода;**  
**а – распределение зернового вороха при сходе с контрольного лотка;**  
**б – распределение зернового вороха при сходе с разработанного лотка**

На диаграмме (рис. 4, а) видно, что при использовании контрольного лотка, который имеет гладкую скатную поверхность, он концентрируется ближе к стенке канала. Это свидетельствует о подаче исследуемого материала в пневмосепарирующий канал концентрированной массой. Высокая плотность обрабатываемого вороха усложняет работу воздушного потока, что приводит к снижению эффективности работы пневмосепарирующего канала. При подаче зернового вороха в вертикальный пневмокана́л питающим лотком разработанной конструкции (рис. 4, б) обеспечивается лучшая равномерность распределения зернового вороха по глубине канала. Более качественное распределение обрабатываемого материала в пневмокана́ле объясняется тем, что при взаимодействии частиц зерновой смеси со ступенчатой поверхностью питателя слой зерна вспушивается и приобретает дополнительную скорость при вводе в канал. Взрыхленный слой зерна при подаче в пневмосепарирующий канал позволяет снизить сопротивление обрабатываемой смеси воздушному потоку, тем самым облегчается работа аспирации.

Об эффективности пневмосепарации в вертикальном канале при сравнении разработанного технического решения и контрольного образца можно судить по массе тысячи семян (см. табл.).

**Масса 1000 семян, г**

Расстояние от загрузочного окна, мм	Контрольный образец – гладкий лоток	Разработанное техническое решение – ступенчатый лоток
0-30	37,5	38,0
30-60	37,4	38,8
60-90	37,5	38,6
90-120	37,4	37,5
120-150	38,0	38,2
150-180	38,4	38,3
Среднее	37,70	38,23

Из таблицы видно, что масса 1000 семян в среднем на 0,53 г выше в результате пневмосепарации с подачей ступенчатым лотком. Это говорит о том, что при одной и той же скорости воздушного потока пневмокана́л выделяет большее количество неполноценных зерновок при загрузке разработанным питателем по сравнению с гладким лотком.

### Заключение

Проанализировав представленные результаты сравнительного эксперимента, можно сделать вывод, что использование питающего лотка со ступенчатой скатной поверхностью позволяет повысить качество пневмосепарации зернового вороха в вертикальном пневмоканале. Из этого следует, что применение рассматриваемого устройства для второй аспирации может повысить эффективность работы всей пневмосистемы зерноочистительной машины в целом.

В дальнейшем планируется определить оптимальные параметры ступенчатой поверхности питателя и кинематический режим его работы в зависимости от объема подачи обрабатываемого материала.

### Библиографический список

1. Бурков А.И. Зерноочистительные машины. Конструкция, исследования, расчет и испытание / А.И. Бурков, Н.П. Сычугов. – Киров : НИИСХ Северо-Востока, 2000. – 261 с.
2. Гиевский А.М. Качественные показатели работы двухаспирационной пневмосистемы зерноочистительной машины с одним воздушным потоком / А.М. Гиевский, А.В. Чернышов, И.В. Баскаков // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2015. – № 9. – С. 15–17.
3. Гортинский В.В. Процессы сепарирования на зерноперерабатывающих предприятиях / В.В. Гортинский, А.Б. Демский, М.А. Борискин. – Москва : Колос, 1980. – 304 с.
4. Нелюбов А.И. Пневмосепарирующие системы сельскохозяйственных машин / А.И. Нелюбов, Е.Ф. Ветров. – Москва : Машиностроение, 1977. – 192 с.
5. Обоснование размеров осадочных камер двухаспирационной пневмосистемы зерноочистительной машины / А.М. Гиевский [и др.] // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2016. – Вып. 4 (51). – С. 87–95.
6. Оценка качества очистки зерна на семяочистительной линии фирмы LMC / В.И. Оробинский [и др.] // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2015. – Вып. 4 (47). – С. 93–97.
7. Пат. №166514 РФ, МПК В07В 4/00, В07В 11/06. Устройство для послерешетной пневмосепарации зернового вороха / Д.С. Тарабрин, А.П. Тарасенко, А.В. Лунёв; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ им. имени Петра I. – № 2016108350/03; заявл. 09.03.2016; опубл. 27.11.2016, Бюл. № 33. – 2 с.
8. Повышение качества зерна / А.П. Тарасенко [и др.] // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2010. – № 10. – С. 7–10.
9. Повышение эффективности работы двухаспирационной пневмосистемы универсальной воздушно-решетной зерноочистительной машины / А.М. Гиевский [и др.] // Тракторы и сельхозмашины. – 2014. – № 5. – С. 32–34.
10. Сайтов В.Е. Совершенствование машины предварительной очистки зерна / В.Е. Сайтов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2007. – № 4. – С. 17–20.
11. Сайтов В.Е. Совершенствование технологического процесса воздушно-решетных зерно- и семяочистительных машин (рекомендации) / В.Е. Сайтов. – Киров : Вятская ГСХА, 2008. – 87 с.
12. Совершенствование механизации производства семян зерновых культур (рекомендации). – Москва : ФГБНУ «Росинформатех», 2014. – 60 с.
13. Сычугов Ю.В. Новые технологии и технические средства послеуборочной обработки зерна / Ю.В. Сычугов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2004. – № 6. – С. 22–25.
14. Тарабрин Д.С. Направление совершенствования аспирационных систем зерноочистительных машин / Д.С. Тарабрин, А.П. Тарасенко // Агропромышленный комплекс на рубеже веков : матер. международной науч.-практ. конф., посвященной 85-летию агроинженерного факультета. – Воронеж : ФГБОУ ВО «Воронежский ГАУ», 2015. – Ч. I. – С. 22–26.
15. Технологии и средства механизации сушки и послеуборочной обработки зерна : учеб. пособие / К.Р. Казаров [и др.]; под ред. К.Р. Казарова. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2016. – 310 с.

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

#### Принадлежность к организации

Дмитрий Сергеевич Тарабрин – аспирант кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Российская Федерация, г. Воронеж, тел. 8(473) 253-78-61, E-mail: faeton912009@rambler.ru.

Дата поступления в редакцию 16.02.2017

Дата принятия к печати 20.03.2017

### AUTHORCREDENTIALS

#### Affiliations

Dmitriy S. Tarabrin – Post-graduate Student, the Dept. of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russian Federation, Voronezh, tel. 8(473) 253-78-61, E-mail: faeton912009@rambler.ru.

Date of receipt 16.02.2017

Date of admittance 20.03.2017