

## ОБОСНОВАНИЕ РЕЖИМА РАБОТЫ МОЛОТИЛЬНО-СЕПАРИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА КОМБАЙНА ПРИ УБОРКЕ СОИ

**Алексей Михайлович Гиевский  
Алексей Викторович Чернышов  
Дмитрий Леонидович Маслов  
Владислав Юрьевич Мильгунов**

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I

Проведена оценка качества работы зерноуборочного комбайна Lexion-570 на уборке семенных посевов сои в условиях Воронежской области. Соя, как и другие однолетние бобовые, относится к крупносеменным легкотравмируемыми культурам. Зерноуборочные комбайны с однобарабанными бильными молотилками допускают дробление зерна до 8–10% даже при выборе рекомендуемого режима настройки молотильно-сепарирующего устройства. При ошибке в выборе режима работы дробление зерна может достигать 20–35%. Режим работы МСУ комбайна Lexion-570 выбирался с использованием системы Auto Crop Adjust и ручной подстройки с целью изменения зазоров в основном молотильном барабане. В результате исследований установлена возможность использования зерноуборочных комбайнов фирмы Claas серии Lexion с системой предварительного обмолота APS на уборке семенных посевов сои при предварительной десикации. При частоте вращения основного молотильного барабана 450 мин<sup>-1</sup> и зазорах на выходе 25–26 мм дробление семян не превышает 3,0% при содержании недомолоченных бобов менее 0,4%. Воздушно-решетная очистка зерноуборочных комбайнов при частоте вращения вала вентилятора 1350 мин<sup>-1</sup>, величине открытия жалюзи верхнего решета 14 мм и нижнего – 8 мм обеспечивает получение комбайнового вороха сои с содержанием незерновых примесей и семян сорных растений не более 1,5%. Для выделения дробленых семян в фуражную фракцию в качестве сортировальных решет необходимо использовать решетчатые полотна с продолговатыми отверстиями шириной 4,2 мм. Масса 1000 семян очищенного вороха в этом случае составит 154,8 г.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** семена сои, дробление семян, недомолоченные бобы, частота вращения молотильного барабана, зазоры в молотильном аппарате.

## PROVISION OF A RATIONALE FOR THE MODE OF OPERATION OF THE THRESHING AND SEPARATING DEVICE OF THE COMBINE AT SOYBEAN HARVESTING

**Aleksey M. Gievsky  
Aleksey V. Chernyshov  
Dmitriy L. Maslov  
Vladislav Yu. Milgunov**

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great

The authors present an assessment of the quality of operation of Lexion-570 combine harvester at harvesting seed producing soybean plantings in the conditions of Voronezh Oblast. Soybean, like other annual legumes, is a large-seeded crop, the seeds of which can be easily damaged. Combine harvesters with single beater drum usually crush grain by 8-10%, even when choosing the recommended setting mode of the threshing and separating combine device. In case of an error in the choice of the mode of operation, the level of grain crushing can increase by 20-35%. The mode of operation of the threshing and separating Lexion-570 combine was selected using the Auto Crop Adjust system and manual adjustment to change the gaps in the main beater drum. As a result of research, the possibility of using LEXION CLAAS combine harvesters with APS pre-threshing system at harvesting seed producing soybean desiccated plantings was revealed. When the frequency of rotation of the main threshing drum and the gaps at the output are equal to 450 min<sup>-1</sup> and 25-26 mm, respectively, the level of seed crushing does not exceed 3.0%, and the content of return seeds is less than 0.4%. Combine heap of soybean with no more than 1.5% of non-grain impurities and weed seeds can be obtained at the following parameters of the air-screen type separation of combine harvester:

fan shaft rotation frequency is  $1350 \text{ min}^{-1}$ , the size of the chaffer fin opening and the shoe sieve is 14 and 8 mm respectively. In order to extract damaged seeds into the fodder fraction, sieve plates with oblong holes of 4.2 mm wide should be used as grading screen. Thousand-seed weight in the separated heap in this case will be 154.8 g.

KEYWORDS: soybean seeds, seed damage, return seeds, frequency of rotation, threshing drum, gaps in the threshing device.

### **В**ведение

Высокое содержание полноценного растительного белка и масла в зерне, способность накапливать азот и усваивать фосфор из труднорастворимых соединений выдвигают сою, наряду с другими однолетними бобовыми, в ряд культур, востребованных в любом севообороте. Соя, как и нут, имеет прямостоячий стебель высотой до 1,2 м. Продуктивная часть формируется в бобах, которые могут иметь различную форму и содержат от одного до четырех семян. Семена имеют слегка овальную форму и продолговатый рубчик. Большинство возделываемых в Центральном Черноземье сортов созревают в конце августа – середине сентября, устойчивы к полеганию и несклонны к растрескиванию бобов, но обладают особенностью их низкого размещения. Уборку сои проводят при влажности бобов 14–16%, что обеспечивает лучшие технологические и посевные свойства зерна. Из-за неравномерности созревания семян возникает необходимость проведения десикации посевов. Десикация ускоряет созревание, подсушивает сорняки и облегчает уборку, снижает влажность зерна. Урожайность зерна сои достигает 4–6 т/га, поэтому ее возделывание сможет обеспечить повышение белковой составляющей в комбикормах и уменьшить его закупки за рубежом.

Соя, как и другие однолетние бобовые, относится к крупносеменным легкоотраиваемым культурам. Масса 1000 зерен составляет в среднем от 140 до 220 г. Убирают сою прямым комбайнированием через 7–10 дней после десикации. В агротехнических требованиях к уборке бобовых культур допускается дробление семян не более 3%. Для сокращения потерь при скашивании и уменьшения подачи растительной массы в молотилку жатвенную часть зерноуборочных комбайнов при возможности оборудуют очесывающим адаптером. Неправильно подобранный режим работы приводит к повышенному дроблению зерна, которое может достигать 20–35%. Даже при выборе рекомендуемых зазоров между декой и бичами барабана и частоты вращения молотильного барабана зерноуборочные комбайны с однобарабанными бильными молотилками допускают дробление зерна, достигающее 8–10% [1, 3, 4, 11, 14].

Состав получаемого комбайнового вороха в основном зависит от состояния продуктивной части растений, засоренности посевов к моменту уборки, типа молотильно-сепарирующего устройства комбайна и режима его работы [6–8].

Для уборки семенных посевов сои рекомендуется использовать зерноуборочные комбайны роторного типа. В таких комбайнах выделение зерна из продуктивной части происходит не за счет удара, а за счет вытирающей способности ротора и более длительного воздействия его рабочих органов на продуктивную часть растений [15, 16].

Эффективность работы комбайнов роторного типа многократно доказана на уборке крупяных культур в условиях многих регионов. Исследованиями обоснован режим работы роторного МСУ, обеспечивающий уровень дробления семян ниже агротехнических требований [2, 3, 11, 14]. Значительную долю в комбайновом парке страны занимают зерноуборочные комбайны фирмы Claas серии Lexion, производство которых организовано на территории Краснодарского края, и комбайны производства ОАО «Гомсельмаш» КЗС-1218А-1 «ПАЛЕССЕ GS 12» и КЗС-1624-1 «ПАЛЕССЕ GS 16». Комбайны этих серий оборудованы системой обмолота APS, в которой барабан предварительного обмолота, названный барабаном-ускорителем, обеспечивает обмолот и сепарацию значительной части полноценного зерна при увеличенных зазорах и меньших оборотах в сравнении с основным молотильным барабаном.

Послеуборочную обработку комбайнового вороха сои, как и других однолетних бобовых культур, наиболее рационально проводить с использованием универсальных воздушно-решетных машин, работающих по фракционной технологии очистки. В таких машинах скорость воздушного потока в канале послерешетной очистки должна составлять более 12,0 м/с. Сравнительно большая доля сортировальных решет (>50%) одновременно с таким режимом работы пневмосистемы смогут обеспечить выделение дробленых и неполноценных семян за однократный пропуск через машину [5, 9, 10, 12, 13, 17].

**Методика исследования**

Качество работы зерноуборочного комбайна Lexion-570 определяли при уборке семенных посевов сои сорта Фаворит в условиях Воронежской области. За несколько дней до уборки при побурении бобов нижнего и среднего яруса бала проведена десикация посевов сои 15% водным раствором препарата реглон супер в дозе 2 л/га. К моменту начала уборки засоренность посевов сои характеризовалась как низкая, а влажность семян в бобах нижнего и среднего ярусов не превышала 16%. Режим работы МСУ выбирался с использованием системы Auto Crop Adjust и ручной подстройки с целью проверки влияния изменения зазоров в основном молотильном барабане на повреждение зерна (см. табл.).

**Режимы работы МСУ комбайна Lexion-570 при уборке сои**

Режим работы	I	II	III	IV
Частота вращения основного молотильного барабана, пб, мин <sup>-1</sup>	450	450	450	450
Зазор на выходе, Δ, мм	20	22	25	27

Система Auto Crop Adjust обеспечивает настройки параметров работы МСУ по 24 культурам. К параметрам, характеризующим режим работы МСУ, относятся:

- зазоры на выходе между бичами барабана ускорителя и подбарабаньем MULTICROP;
- зазоры на выходе между бичами основного барабана и его подбарабаньем;
- частота вращения основного барабана;
- величина открытия жалюзи решет;
- частота вращения вала вентилятора;
- подача воздушного потока в продуваемый каскад.

С изменением оборотов основного барабана синхронно изменялась частота вращения барабана-ускорителя, которая составляла 80% от частоты вращения основного барабана. Подбарабанье MULTICROP барабана-ускорителя было оборудовано сменной декой, рекомендуемой для уборки крупносеменных культур и кукурузы.

Режим работы очистки заключался в установке частоты вращения вала вентилятора, равной 1350 мин<sup>-1</sup>, открытии жалюзи верхнего решета 14 мм и нижнего решета – 8 мм, открытии подачи воздушного потока в продуваемый каскад между транспортной доской и верхним жалюзийным решетом.

Образцы комбайнового вороха были отобраны из зернового элеватора при загрузке вороха в бункер комбайна. Для определения состава вороха проведены экспериментальные исследования в лабораторных условиях кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей. В свежееубранном ворохе сои, кроме сорных примесей и незерновых компонентов, присутствует часть поврежденного и дробленого зерна основной культуры.

Программа экспериментальных исследований предусматривала следующее:

- определение уровня дробления семян сои и недомолота бобов в зависимости от режима работы МСУ комбайна Lexion 570;

- оценку возможности использования комбайнов серии Lexion для уборки легкоповреждаемых бобовых культур;
- выявление закономерности дробления семян сои в зависимости от размеров;
- обоснование зависимости массы 1000 семян от их размеров;
- расчет размеров отверстий решетных полотен для использования в качестве сортировальных решет на воздушно-решетной машине.

Для оценки дробления семян в зависимости от размеров пользовались решетным классификатором РЛ-1, оборудованным набором решет с круглыми отверстиями. Ворох сои с каждого решета разделяли визуально на целые, дробленные семена, недомолоченные бобы, сорные и легковесные примеси. К легковесным примесям были отнесены кусочки стеблей и створки обмолоченных бобов. Фракции с каждого решета взвешивали на лабораторных весах JW-1.

### Результаты и их обсуждение

Доля легковесных примесей в комбайновом ворохе сои составляла менее 1,0%, а семена сорных растений в ворохе занимали менее 0,5%. Наличие такой незначительной доли незерновых компонентов и семян сорняков можно объяснить относительно высокой скоростью воздушного потока на решетках очистки и в продуваемом каскаде (7,5–8,5 м/с). Такие значения скорости обеспечивались выбором рационального для данной культуры режима работы и конструктивными особенностями воздушно-решетной очистки комбайна, включая секционный вентилятор.

Влияние зазоров на выходе из основного молотильного барабана на дробление семян и недомолот бобов представлено на рисунке 1.

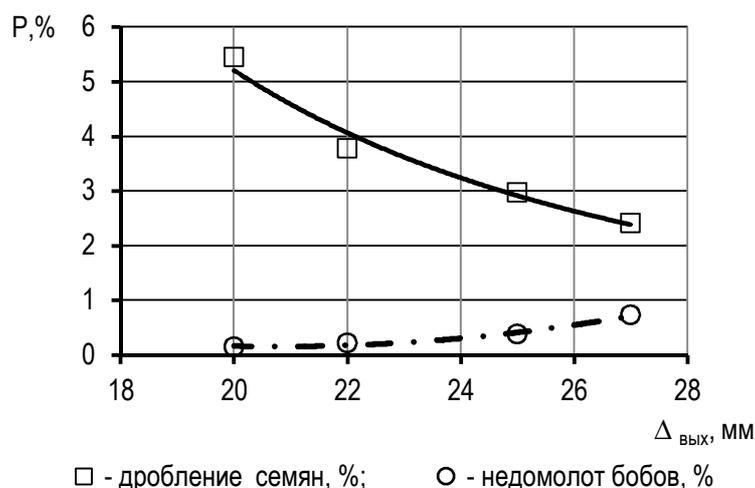


Рис. 1. Влияние величины зазора на выходе из основного молотильного барабана на дробление семян и недомолот бобов

Экспериментальные значения дробления семян ( $D$ ) описываются следующим уравнением регрессии:

$$D = 47,238 \cdot e^{-0,11 \cdot \Delta}, \text{ \%}; \text{ уровень достоверности} - R^2 = 0,969.$$

Анализ приведенных графических зависимостей показывает, что уменьшение зазоров на выходе из основного молотильного барабана менее 25 мм приводит к увеличению дробления семян сои свыше 3,0%, что превышает агротехнические требования. С выбором величины зазоров менее 22 мм интенсивность повреждения зерна резко возрастает. Так, если при снижении величины зазоров с 27 до 25 мм дробление зерна увеличилось на 0,5%, то при снижении величины зазоров с 22 до 20 мм (т. е. на те же 2 мм) отмечен рост дробления зерна уже на 1,2%.

Увеличение величины зазоров на выходе из основного молотильного барабана более 27 мм приводит к снижению доли дробленых семян сои (менее 2,4%), но при этом режиме начинает расти недомолот бобов – до 0,6%. Зависимость недомолота ( $H\delta$ ) от величин зазоров на выходе из основного молотильного барабана удовлетворительно описывается следующим уравнением:

$$H\delta = 0,015 \cdot \Delta^2 - 0,6 \cdot \Delta + 5,42, \%; \text{ уровень достоверности} - R^2 = 0,982 .$$

В этом случае суммарные потери (дробленые и недомолоченные в бобах семена) не превышают 3,0%, что соответствует агротребованиям, предъявляемым к уборке бобовых культур.

Распределение полноценных семян сои по ширине на решетках с круглыми отверстиями представлено на рисунке 2, а.

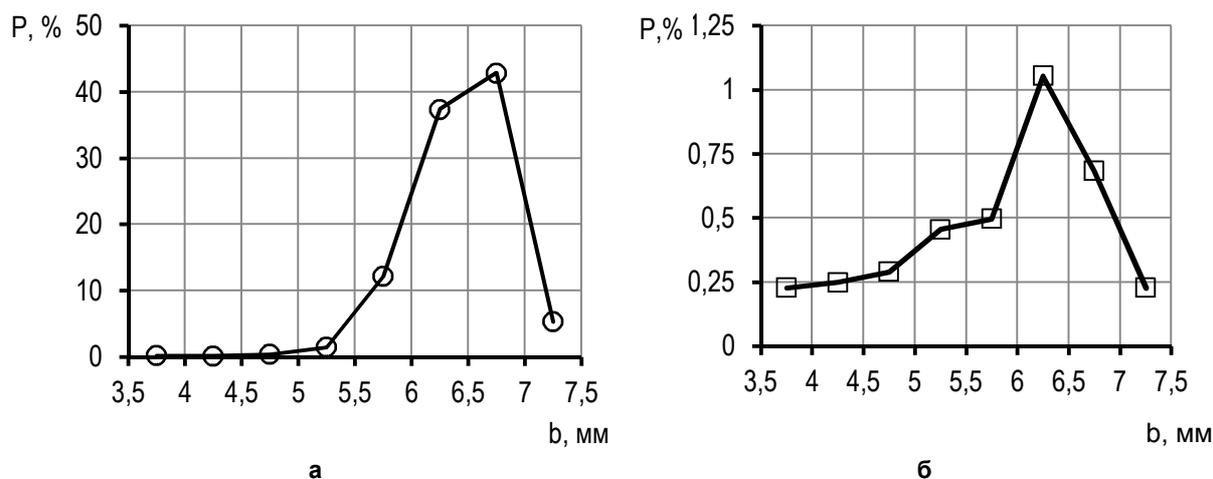


Рис. 2. Распределение полноценных (а) и дробленых (б) семян сои по ширине на решетках с круглыми отверстиями

Как видно на рисунке 2, а, семена сои имеют относительно небольшой разброс линейных размеров: от 3,5 до 7,25 мм. Суммарное содержание мелких семян, имеющих ширину менее 5,5 мм, не превышает 4,5%. Основную долю в ворохе занимают семена шириной от 5,5 до 7,25 мм, причем доля семян толщиной 6,25–6,75 мм в исходном ворохе составляет почти 80%.

Распределение дробленых семян сои представлено на рисунке 2, б. Эксперименты проводили в условиях второго режима работы молотильного аппарата при частоте вращения основного молотильного барабана 450 мин<sup>-1</sup> и зазоре на выходе из основного молотильного барабана 22 мм.

Как видно из приведенной графической зависимости, семена сои повреждаются независимо от их размеров, что объясняется их биологическими особенностями и влажностью во время обмолота. Изменение зазоров на выходе из основного молотильного барабана существенно не повлияло на характер распределения дробления семян в зависимости от размеров. В большей степени повреждаются семена тех фракций, которые составляют значительную долю вороха, т. е. семена толщиной 6,25–6,75 мм. Для семян шириной от 3,5 до 5,5 мм повреждение наблюдается почти в 3,0 раза меньше, чем у более крупных семян. Повреждение мелких семян можно объяснить их нахождением в недозревших бобах и повышенной влажностью к моменту уборки, несмотря на проведенную десикацию.

Одним из основных показателей для семян является их выравненность, которую наряду с линейными размерами характеризует масса 1000 зерновок. Для комбайнового вороха сои масса 1000 зерновок в зависимости от ширины меняется в больших пределах – от 30 до 220 г (рис. 3).

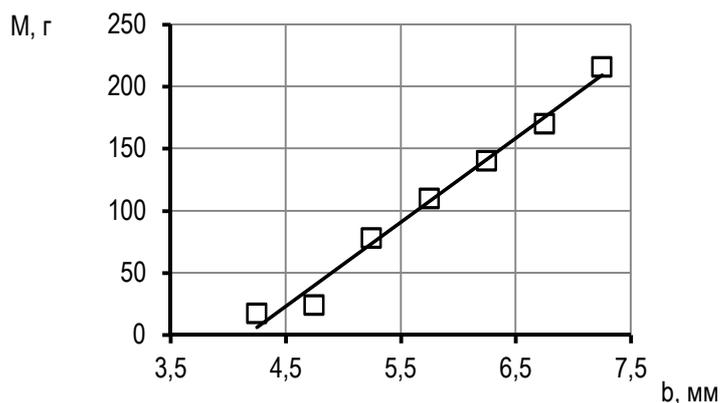


Рис. 3. Изменение массы 1000 семян сои в зависимости от ширины

Фракция семян шириной менее 3,75 мм полностью состоит из дробленых зерновок, поэтому она была исключена из дальнейшего рассмотрения. Масса 1000 семян, имеющих размеры менее 5,25 мм, составляет менее 80 г. Поэтому семена, имеющие ширину менее 5,25–5,5 мм, необходимо направлять в фуражную фракцию.

Экспериментальные данные описываются следующим линейным уравнением регрессии:

$$M = 67,8 \cdot b - 282,2, \text{ г; уровень достоверности} - R^2 = 0,985.$$

Однако при установке в качестве сортировальных решет полотен с круглыми отверстиями диаметром 5,5 мм в основной фракции остается часть дробленых семян сои, которые имеют размер более 5,5 мм (рис. 2). Доля невыделенных дробленых семян в очищенном ворохе может достигать 2,0% и более.

Для их выделения исследовалась возможность использования при сортировке решетчатых полотен с продолговатыми отверстиями размером 4,0×25 мм и 4,2×25 мм. При использовании решетчатых полотен с отверстиями размером 4,0×25 мм в очищенных семенах остается примерно 0,4% дробленых семян.

Использование решетчатых полотен с продолговатыми отверстиями размером 4,2×25 мм позволяет направить в фуражную фракцию все дробленые семена. Масса 1000 семян очищенного вороха в этом случае составит 154,8 г.

### Заключение

Проведенные исследования показывают, что для уборки сои на семена можно использовать зерноуборочные комбайны фирмы Claas серии Lexion с системой предварительного обмолота APS. При десикации посевов перед уборкой и при работе МСУ с частотой вращения основного молотильного барабана 450 мин<sup>-1</sup> и зазором на выходе 25–26 мм можно добиться дробления семян менее 3,0% при содержании недомолоченных бобов менее 0,4%.

Воздушно-решетная очистка зерноуборочных комбайнов при частоте вращения вала вентилятора 1350 мин<sup>-1</sup>, величине открытия жалюзи верхнего решета 14 мм и нижнего – 8 мм обеспечивает получение комбайнового вороха сои с содержанием незерновых примесей и семян сорных растений не более 1,5%. Для выделения дробленых семян в фуражную фракцию в качестве сортировальных решет необходимо использовать решетчатые полотна с продолговатыми отверстиями размером 4,2×25 мм. Масса 1000 семян очищенного вороха в этом случае составит 154,8 г.

### Библиографический список

1. Алдошин Н.В. Уборка зернобобовых культур методом очеса / Н.В. Алдошин, Н.А. Лылин, М.А. Мосяков // Дальневосточный аграрный вестник. – 2017. – № 1. – С. 67–74.
2. Влияние типа комбайнов на качество получаемого зернового вороха гречихи / А.П. Тарасенко, В.И. Оробинский, Т.Н. Тертычная, Н.М. Дерканосова // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2012. – № 2 (33). – С. 132–134.

3. Исследование качества уборки гречихи / А.П. Тарасенко, В.И. Оробинский, М.Э. Мерчалова, К.В. Мяснянкин, Е.С. Щербак // Техника в сельском хозяйстве. – 2012. – № 1. – С. 23–25.
4. Митрофанов Н.Н. Совершенствование обмолота сои зерноуборочным комплексом / Н.Н. Митрофанов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2006. – № 10. – С. 28–29.
5. Оробинский В.И. Фракционирование зернового вороха и качество семян / В.И. Оробинский // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2006. – № 10. – С. 29–30.
6. Оробинский В.И. Влияние микроорганизмов и срока хранения на посевные качества семян / В.И. Оробинский // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2006. – № 11. – С. 5–6.
7. Оробинский В.И. Влияние режимов работы очистки зерноуборочных комбайнов на потери зерна / В.И. Оробинский // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2005. – № 2. – С. 6–7.
8. Оробинский В.И. Изучение циркуляционных процессов в молотилке зерноуборочного комбайна / В.И. Оробинский, А.П. Тарасенко, А.М. Гиевский // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2010. – № 2 (29). – С. 37–41.
9. Оробинский В.И. Использование двухъярусных четырехрешетных станков для фракционирования зернового вороха / В.И. Оробинский // Зерновое хозяйство. – 2006. – № 4. – С. 18–19.
10. Оробинский В.И. Совершенствование технологии послеуборочной обработки семян фракционированием и технических средств для ее реализации : дис. ... д-ра с.-х. наук : 05.20.01 / В.И. Оробинский. – Воронеж, 2007. – 334 с.
11. Оценка повреждений зерна белого люпина при уборке урожая / Н.В. Алдошин и др. // Тракторы и сельхозмашины. – 2015. – № 2. – С. 26–29.
12. Повышение качества зерна / А.П. Тарасенко, В.И. Оробинский, М.Э. Мерчалова, С.В. Чернышов, А.В. Чернышов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2010. – № 10. – С. 7–10.
13. Совершенствование конструкции шариковой очистки решет / В.И. Оробинский, А.Ю. Черемисинов, А.А. Сундеев, А.С. Корнев // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2012. – № 2 (33). – С. 126–128.
14. Тарасенко А.П. Влияние влажности зерна при уборке и послеуборочной обработке на его травмирование / А.П. Тарасенко, В.И. Оробинский, М.Э. Мерчалова // Зерновые культуры. Зерновой хозяйство. – 1999. – № 4. – С. 22–24.
15. Тарасенко А.П. Снижение травмирования семян при уборке и послеуборочной обработке / А.П. Тарасенко. – Воронеж : ФГОУ ВПО Воронежский ГАУ, 2003. – 331 с.
16. Тарасенко А.П. Роторные зерноуборочные комбайны : учеб. пособие / А.П. Тарасенко. – Санкт-Петербург : Лань, 2013. – 192 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=10256](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=10256) (дата обращения: 23.10.2018).
17. Шацкий В.П. Регулирование скорости воздушного потока в аспирационных каналах зерноочистительной машины / В.П. Шацкий, В.И. Оробинский, А.И. Королев // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2006. – № 9. – С. 3–4.

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ Принадлежность к организации

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](mailto:aleksej.gievskij@mail.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](mailto:lexa-c@yandex.ru).

Дмитрий Леонидович Маслов – магистрант агроинженерного факультета ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: [dmo.maslov@yandex.ru](mailto:dmo.maslov@yandex.ru).

Владислав Юрьевич Мильгунов – магистрант агроинженерного факультета ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: [milgunow@mail.ru](mailto:milgunow@mail.ru).

Дата поступления в редакцию 23.01.2019

Дата принятия к печати 15.02.2019

### AUTHOR CREDENTIALS Affiliations

Aleksey M. Gievsky, Doctor of Engineering Sciences, Professor, the 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](mailto:aleksej.gievskij@mail.ru).

Aleksey V. Chernyshov, Candidate of Engineering Sciences, Docent, the 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](mailto:lexa-c@yandex.ru).

Dmitriy L. Maslov, Master's Degree Student, Faculty of Rural Engineering, Voronezh State Agrarian University named after Emperor the Great, Russia, Voronezh, e-mail: [dmo.maslov@yandex.ru](mailto:dmo.maslov@yandex.ru).

Vladislav Yu. Milgunov, Master's Degree Student, Faculty of Rural Engineering, Voronezh State Agrarian University named after Emperor the Great, Russia, Voronezh, e-mail: [milgunow@mail.ru](mailto:milgunow@mail.ru).

Received January 23, 2019

Accepted February 15, 2019