

## ТЕХНОЛОГИИ И СРЕДСТВА МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА (ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)

Научная статья  
УДК 631.354.2.076:361.022  
DOI: 10.53914/issn2071-2243\_2022\_1\_12

### Обоснование выбора типа комбайна для уборки посевов сои на кормовые и семенные цели

Алексей Михайлович Гиевский<sup>1</sup>, Владимир Иванович Оробинский<sup>2</sup>,  
Алексей Викторович Чернышов<sup>3✉</sup>, Иван Васильевич Баскаков<sup>4</sup>, Роман Александрович Дружинин<sup>5</sup>  
<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup>Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, Воронеж, Россия  
<sup>3</sup>lexa-c@yandex.ru✉

**Аннотация.** Однолетние бобовые культуры характеризуются повышенной повреждаемостью зерна при обмолоте. Преобладание ударного воздействия, которое присуще молотильно-сепарирующим системам бильного типа, предопределяет повышенное (8–10%) дробление зерновок. С целью определения более щадящего типа молотилки комбайнов, применяемых на уборке посевов сои на кормовые и семенные цели, исследованы качественные показатели их работы в условиях Воронежской и Липецкой областей. Однобарабанные бильные молотильно-сепарирующие устройства в зависимости от состояния посевов и режима работы могут травмировать до 20–30% семян. Замена клавишных соломотрясов роторными и использование системы предварительного обмолота APS с дополнительным барабаном-ускорителем в сочетании с системой автоматического выбора и корректировки режимных параметров работы молотилки позволяют снизить повреждение семян соевых бобов до агротехнических требований. Лучшие показатели отмечены при обмолоте сои комбайном John Deere S660 с роторным молотильно-сепарирующим устройством при частоте вращения ротора  $n = 350 \text{ мин}^{-1}$  и зазоре между бичами молотильной части ротора и декой 20–22 мм. При таких настроечных параметрах дробление зерновок сои снижается до 2,0%, недомолот – не превышает 0,75%. Для уборки семенных посевов можно также рекомендовать комбайны с комбинированной молотильно-сепарирующей системой фирмы Claas серий Lexion и Tucano. Так, при частоте вращения основного молотильного барабана не более  $350 \text{ мин}^{-1}$  и зазоре на выходе  $\Delta_{\text{вых}} = 22 \text{ мм}$  доля поврежденных зерновок не превышает 3,0%. Зерноуборочные комбайны барабанного типа с одним молотильным барабаном можно рекомендовать для уборки кормовых посевов и посевов на товарные цели. Комбайн Acros 585 Plus при частоте вращения молотильного барабана  $n = 350 \text{ мин}^{-1}$  и зазоре на выходе  $\Delta_{\text{вых}} = 20 \text{ мм}$  позволяет снижать дробление зерновок сои до 3,2–4,0% при недомолоте бобов около 4,0%.

**Ключевые слова:** зерноуборочный комбайн, семена сои, дробление зерновок, недомолоченные бобы, тип молотильной системы, режим работы молотилки, режим работы очистки комбайна

**Для цитирования:** Гиевский А.М., Оробинский В.И., Чернышов А.В., Баскаков И.В., Дружинин Р.А. Обоснование выбора типа комбайна для уборки посевов сои на кормовые и семенные цели // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2022. Т. 15, № 1(72). С. 12–22. [https://doi.org/10.53914/issn2071-2243\\_2022\\_1\\_12-22](https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2022_1_12-22).

## TECHNOLOGIES AND MECHANICAL MEANS IN AGRICULTURE (ENGINEERING SCIENCES)

Original article

### Rationale for choosing combine harvester type for harvesting soybean crops for feed and seed purposes

Aleksey M. Gievsky<sup>1</sup>, Vladimir I. Orobinsky<sup>2</sup>, Aleksey V. Chernyshov<sup>3✉</sup>,  
Ivan V. Baskakov<sup>4</sup>, Roman A. Druzhinin<sup>5</sup>  
<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup>Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, Russia  
<sup>3</sup>lexa-c@yandex.ru✉

**Abstract.** Annual leguminous crops are characterized by increased grain damage during threshing. The predominance of impact, which is characteristic of threshing-separating systems of the rasp-bar type, predefines the increased (by 8-10%) crushing of grains. In order to determine a more gentle type of threshing combines used for harvesting soybean crops for feed and seed purposes, the authors studied their qualitative performance indicators in conditions of Voronezh and Lipetsk Oblasts. Single-drum rasp-bar threshing and separating devices, depending on plantings condition and mode of operation, can damage up to 20-30% of seeds. The replacement of the keyboard straw rack with rotary one and the use of the APS hybrid pre-threshing system with an additional accelerator drum in

combination with the system of automatic selection and adjustment of the operating parameters of the threshing machine make it possible to reduce soybean seeds damage to agrotechnical requirements. The best indicators were noted during threshing soybeans with a John Deere S660 combine harvester with a rotor threshing-separating device at a rotor speed of  $n = 350 \text{ min}^{-1}$  and a gap between the whips of the threshing part of the rotor and the deck of 20-22 mm. Due to such tuning parameters, soybean grains damage reduces to 2.0%, underthreshing does not exceed 0.75%. For harvesting plantings for seeds, it is also possible to recommend combines with a combined threshing and separating system of the Claas Lexion and Tucano series. Thus, at a rotation speed of the main threshing drum of no more than  $350 \text{ min}^{-1}$  and a gap at the output  $\Delta_{\text{out}} = 22 \text{ mm}$ , the content of damaged grains does not exceed 3.0%. Drum-type combine harvesters with one threshing drum can be recommended for harvesting crops for feed and commercial purposes. When using the Acros 585 Plus combine harvester with a rotation speed of the beater drum  $n = 350 \text{ min}^{-1}$  and a gap at the output  $\Delta_{\text{out}} = 20 \text{ mm}$  soybean grains damage can be reduced to 3.2-4.0%, underthreshing does not exceed 4.0%.

**Keywords:** combine harvester, soybean seeds, damage of grains, underthreshed beans, type of threshing system, threshing operation mode, mode of operation of separation

**For citation:** Gievsky A.M., Orobinsky V.I., Chernyshov A.V., Baskakov I.V., Druzhinin R.A. Rationale for choosing combine harvester type for harvesting soybean crops for feed and seed purposes. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2022;15(1):12-22. (In Russ.). [https://doi.org/10.53914/issn2071-2243\\_2022\\_1\\_12-22](https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2022_1_12-22).

## Введение

Восстановление отрасли животноводства требует создания прочной кормовой базы для обеспечения поголовья животных кормами, сбалансированными по питательным веществам и витаминам. Однолетние бобовые культуры, из которых наиболее востребованы горох и соя, несмотря на целый ряд биологических особенностей, вызывающих дополнительные трудности при уборке, отличаются высоким содержанием полноценного белка и масла в зерне, способностью накапливать азот и усваивать фосфор из труднорастворимых соединений. В последние годы по распространенности соя не уступает гороху, динамика роста площадей, занимаемых этой культурой, самая высокая из всех бобовых. Соя, в отличие от гороха, имеет прямостоячий стебель высотой до 1,0–1,2 м и отличается большей урожайностью, достигающей при достаточном обеспечении влагой 4–6 т/га.

Зерновая часть у сои формируется в бобах, которые содержат от одного до четырех семян овальной формы с продолговатым рубчиком. Большинство возделываемых в настоящее время сортов устойчивы к полеганию, но зачастую характеризуются низким расположением продуктивной части на стеблях. Последнее обстоятельство необходимо учитывать при выборе жаток и приспособлений к ним для уборки сои, в том числе и очесывающих адаптеров [1, 2, 5].

Убирают сою в основном прямым комбайнированием через одну или полторы недели после десикации травостоя. Данную химическую обработку проводят с целью уменьшения влажности как растительной массы, так и бобов с зерном. Десикация снижает количество растительных остатков и семян сорных растений в ворохе, уменьшает прочность связи бобов с растениями и усилие, необходимое для раскрытия створок. В итоге можно задавать менее «жесткий» режим работы молотильной системы, снижая тем самым повреждение зерна [9, 12–16].

Многочисленными исследованиями, проведенными при уборке крупяных и легко повреждаемых бобовых культур, установлено преимущество использования зерноуборочных комбайнов с роторной молотильно-сепарирующей системой (МСУ) по сравнению с комбайнами, имеющими однобарабанный бильный молотильный аппарат [10, 11].

Ученые Дальневосточного региона при отсутствии комбайнов роторного типа для уборки сои на семенные цели из комбайнов с бильной молотильной системой отдают предпочтение машинам, которые имеют два молотильных барабана [4, 6–8]. Использование двухбарабанных зерноуборочных комбайнов позволяет снизить дробление семян до 6,0–7,0%.

Исследования, проведенные в уборочный сезон 2018 г., показали, что для уборки сои на семена после десикации можно применять зерноуборочные комбайны комбинированного типа фирмы Claas серии Lexion с частотой вращения основного молотильного барабана  $450 \text{ мин}^{-1}$  и зазором 25–26 мм. Дробление семян в этом случае составляло меньше 3,0% [3].

Несмотря на широко известные преимущества зерноуборочных комбайнов с роторной молотильно-сепарирующей системой, в настоящее время они доступны не всем хозяйствующим субъектам в регионе. Таким парком современных комбайнов, как правило, располагают крупные хозяйства или агрохолдинги. Более мелкие сельскохозяйственные предприятия зачастую имеют современные отечественные зерноуборочные комбайны барабанного типа серий Vector и Acros.

Представлены результаты исследований, проведенных с целью анализа режимов работы различных МСУ зерноуборочных комбайнов при обмолоте сои.

### **Материалы и методы**

Исследования проводились при работе зерноуборочных комбайнов марок Acros 585 Plus, Lexion 580 и John Deere S660 производства таких компаний, как ООО «Комбайновый завод «Ростсельмаш»», Claas Group, Deere&Company.

Комбайн Acros 585 Plus является одной из последних отечественных модификаций комбайнов этой серии, в которую внесены конструктивные изменения, касающиеся жатвенной части, наклонной камеры, молотильной системы и очистки. Жатвенная часть оснащается системой автоматического копирования рельефа поля, а наклонная камера на выходе содержит ускоряющий битек, который обеспечивает увеличение скорости прохождения хлебной массы и ее частичный обмолот перед подачей к молотильному барабану. Очистка комбайна получила дополнительное верхнее решето, которое образовало с основным верхним решетом еще один каскад. Подачу воздуха в продуваемые каскады обеспечивает секционный двухрукавный вентилятор-турбина. Площадь решет очистки возросла до  $5,2 \text{ м}^2$ . За пять дней до уборки была проведена десикация посевов сои сорта Гера-1, биологическая урожайность которой составляла 3,65 т/га. Выбор режима работы молотилки и очистки проводили на основании рекомендаций, приведенных в руководстве по эксплуатации. Частоту вращения молотильного барабана изменяли в интервале  $350\text{--}450 \text{ мин}^{-1}$ . Зазор между бичами барабана и планками деки на выходе варьировали в пределах 12–20 мм. Разница зазоров на входе и выходе при этом составляла 16 мм. Частота вращения молотильного барабана была ниже верхнего значения, указанного в рекомендациях для уборки гороха и сои.

Параметры настройки воздушно-решетной очистки были следующими:

- частота вращения вала вентилятора –  $750 \text{ мин}^{-1}$ ;
- открытие жалюзи верхнего решета – 15 мм, нижнего – 10 мм.

Пределы изменения частоты вращения молотильного барабана соответствовали значениям, рекомендованным также для других марок комбайнов с молотильным аппаратом бильного типа.

Отобранные образцы комбайнового вороха вручную визуальнo разделяли по составу на:

- целые зерновки;
- дробленые зерновки;
- недомолоченные бобы с неразрушенными створками;
- незерновые компоненты;
- семена сорняков и других растений, которые оказались в ворохе после обмолота и очистки.

Компания Claas располагает сборочным производством на территории Краснодарского края и выпускает зерноуборочные комбайны с комбинированной молотильно-сепарирующей системой марки Lexion 500 и 600 серий, а также Tuscato 500 серии. Принципиальное различие этих комбайнов заключается в ширине молотилки. У комбайнов марки Lexion она составляет 1700 мм, а у Tuscato – 1580 мм. Кроме того, комбайны марки Lexion оборудованы двухпоточным роторным соломосепаратором длиной 4200 мм и диаметром 450 мм с интервалом бесступенчатого регулирования частоты вращения 360–1050 мин<sup>-1</sup>. Комбайн марки Tuscato имеет однопоточный роторный сепаратор диаметром 570 мм с пределами регулирования частоты вращения 480–920 мин<sup>-1</sup>. В остальном оснащении обе модели не имеют существенных различий, кроме производительности и мощности установленных двигателей.

Качество работы зерноуборочного комбайна Lexion 580, как и комбайна Acros 585, оценивалось при уборке сои одного и того же сорта Гера-1 и одинаковых природно-климатических условиях. Режим работы МСУ выбирали, используя рекомендации электронной системы настройки Auto Crop Adjust, которой оборудуются комбайны этой серии. Для получения экспериментальных данных прибегали к ручной подстройке значений зазоров в основном молотильном барабане и оборотов барабана. Отбор образцов вороха проводился после воздушно-решетной очистки при подаче непосредственно в бункер, что исключало влияние места отбора образцов в самом бункере. При подготовке комбайна к уборке была произведена замена сменных секционных дек подбарабанья MULTICROP барабана ускорителя на деки, рекомендуемые для уборки бобовых культур и кукурузы.

В сельскохозяйственных предприятиях региона большой популярностью, наряду с зерноуборочными комбайнами комбинированного типа фирмы Claas марки Lexion и Tuscato, пользуются роторные комбайны фирмы John Deere серий S600 и S700.

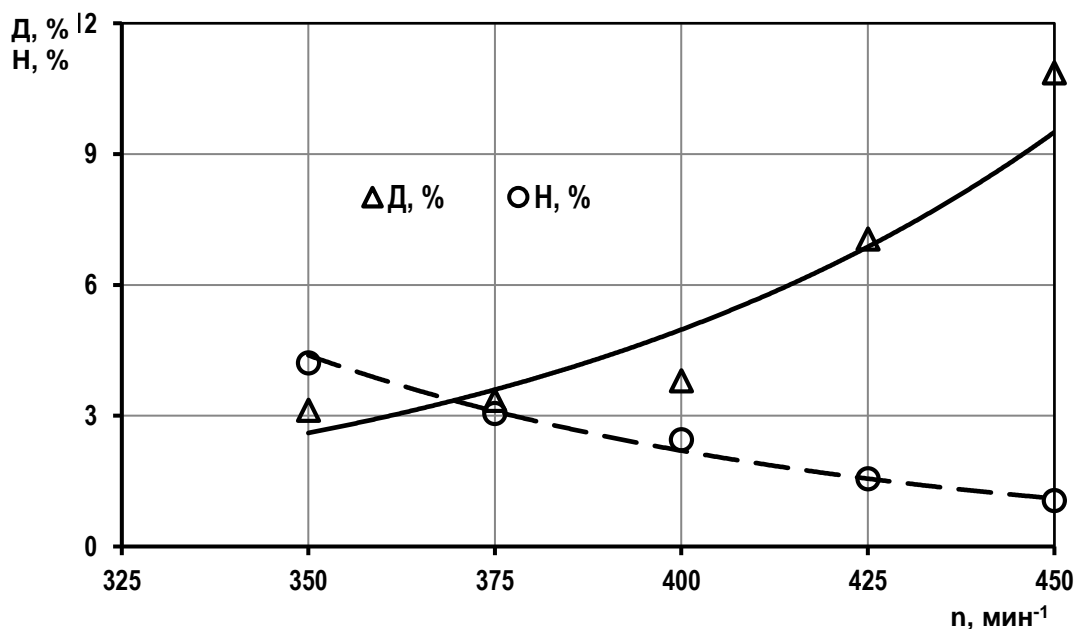
Фирма John Deere имеет сборочное производство на территории России – ООО «Джон Дир Русь», которое расположено в промышленной зоне Домодедовского района Московской области. Наряду с комбайнами классической схемы выпускается несколько моделей зерноуборочных комбайнов с совмещенным молотильно-сепарирующим устройством однороторного типа, в том числе серии S660. Зерноуборочный комбайн John Deere S660 имеет молотильно-сепарирующее устройство с продольно расположенным наклонным ротором, приемная часть которого имеет конусообразную форму и снабжена лопастями, размещенными по принципу трехзаходного винта. Такая конструкция способствует разделению потока стеблей без образования жгутов и его дальнейшей подаче в молотильную зону ротора, оснащенную короткими бичами, расположенными по винтовой спирали. Сепарирующая зона ротора, как и молотильная, имеет переменное сечение (Variable Stream) и оснащена сменными зубьями. Кожух ротора переменного диаметра расположен эксцентрично относительно оси ротора со ступенчатым увеличением диаметра по мере прохождения хлебной массы. Нижняя часть кожуха имеет сменные секции подбарабанья, отличающиеся конструкцией и размером ячеек сепарирующей решетки.

В воздушно-решетной очистке комбайна применена транспортировка мелкого вороха с помощью шнеков к дополнительному каскадному решету предварительной очистки. Вентилятор диаметального типа оригинальной конструкции отличается повышенной производительностью и позволяет равномерно распределить воздушный поток по ширине очистки с подачей необходимой части в продуваемые каскады. Решето предварительной очистки имеет площадь 0,5 м<sup>2</sup>, что совместно с верхним и нижним решетками увеличило общую площадь до 5,2 м<sup>2</sup>.

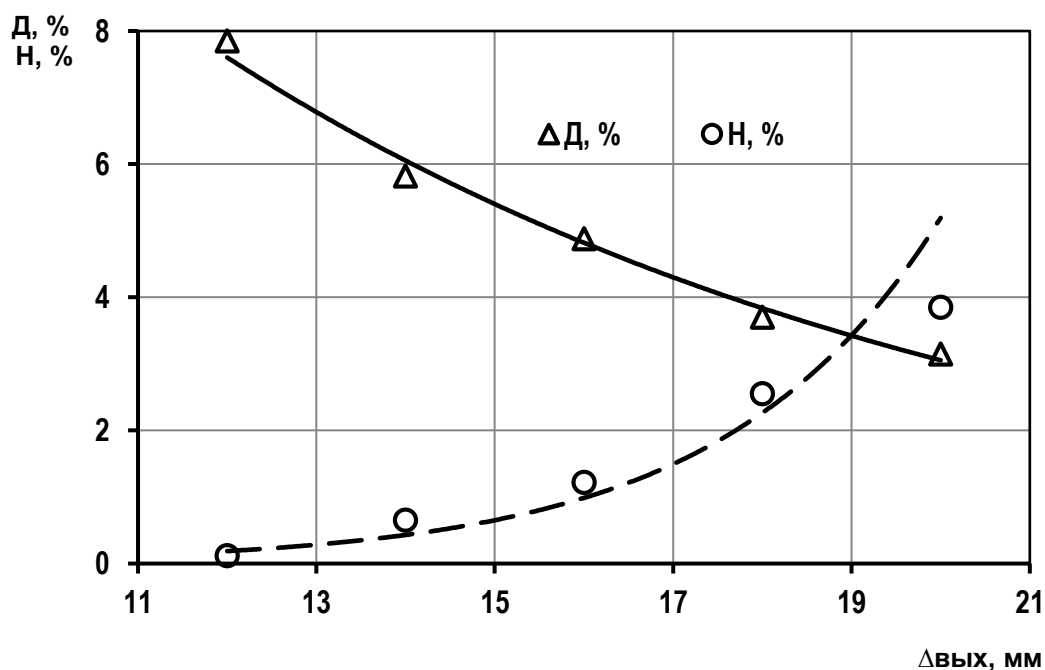
Настройки очистки проводятся дистанционно за счет электрической регулировки открытия жалюзи решет и изменения оборотов вентилятора.

### Результаты и их обсуждение

На рисунке 1 представлено влияние частоты вращения МСУ комбайна марки Acros 585 при постоянном зазоре на выходе  $\Delta_{\text{вых}} = 18$  мм, а также влияние величин зазоров при постоянной частоте вращения молотильного барабана  $n = 400$  мин<sup>-1</sup> на дробление и недомолот семян сои.



а



б

Рис. 1. Влияние режима работы МСУ комбайна Acros 585 на дробление (Д) и недомолот (Н) семян сои: а – влияние частоты вращения молотильного барабана при постоянном зазоре на выходе  $\Delta_{\text{вых}} = 18$  мм; б – влияние величин зазоров на выходе при постоянной частоте вращения молотильного барабана  $n = 400$  мин<sup>-1</sup>

Экспериментальная зависимость влияния частоты вращения молотильного барабана на дробление зерновок удовлетворительно описывается уравнением

$$D = 0,0279 \cdot e^{0,013 \cdot n}, \text{ при уровне достоверности } R^2 = 0,8906, \quad (1)$$

где  $n$  – частота вращения барабана,  $\text{мин}^{-1}$ .

Экспериментальная зависимость дробления от зазора при частоте вращения молотильного барабана удовлетворительно описывается уравнением

$$D = 29,841 \cdot e^{-0,114 \cdot \Delta}, \text{ при уровне достоверности } R^2 = 0,9905, \quad (2)$$

где  $\Delta$  – зазор на выходе между барабаном и декой, мм.

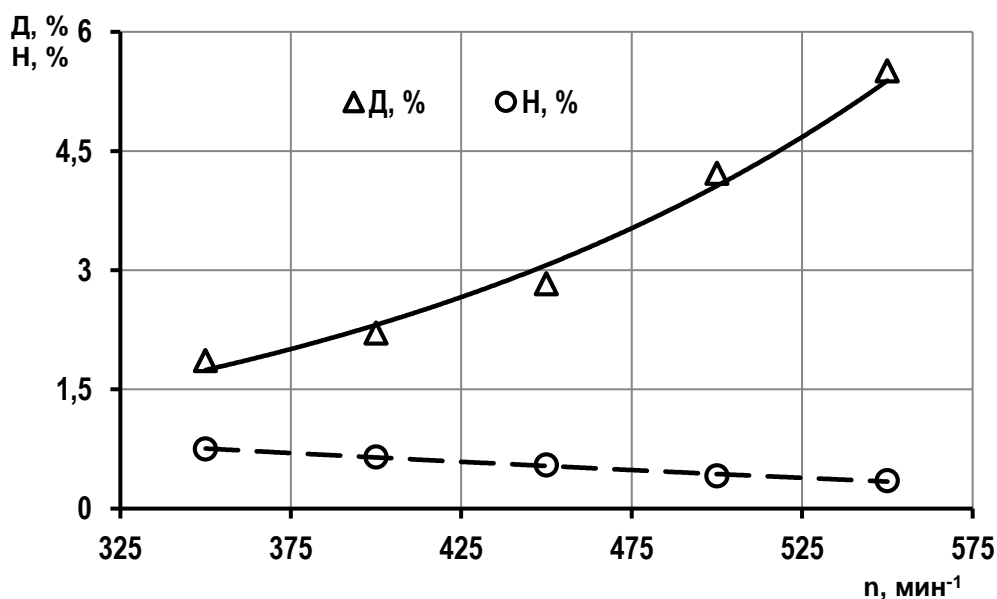
Анализ приведенных зависимостей показывает, что с уменьшением частоты вращения барабана с 450 до 350  $\text{мин}^{-1}$  дробление зерновок сои снижается почти в три раза, а недомолот бобов возрастает с 1,2 до 4,1%. Минимальное дробление зерновок сои (3,0–3,2%) при уборке комбайном Acros 585 достигается при зазоре на выходе  $\Delta_{\text{вых}} = 20$  мм и частоте вращения молотильного барабана  $n = 350 \text{ мин}^{-1}$ . Одновременно с таким уровнем дробления наблюдается недомолот бобов, достигающий 3,85%. Суммарные потери семян при выборе такого режима за счет дробления и недомолота достигают 7,0%.

Увеличение зазоров на выходе в большей степени сказывается на росте недомолота бобов, чем на снижении дробления семян. Уменьшение оборотов молотильного барабана до 300  $\text{мин}^{-1}$  не снижает уровень дробления, равный 3,0%, при одновременном росте недомолота, равного 4,0%.

Дробление зерновок является невозвратимыми потерями в случае их частичного выделения уже воздушно-решетной очисткой самого комбайна. В то же время зерновки, находящиеся в недомолоченных бобах, потенциально могут быть возвращены в ворох при послеуборочной обработке.

Таким образом, внесенные изменения в конструкцию молотилки комбайна позволили снизить дробление зерновок сои почти в два раза по сравнению с однобарабанными комбайнами с таким же диаметром молотильного барабана, но повреждение остается выше агротехнических требований к уборке семенных посевов.

На рисунке 2 представлено влияние частоты вращения МСУ комбайна марки Lexion 580 при постоянном зазоре на выходе  $\Delta_{\text{вых}} = 25$  мм, а также влияние величин зазоров при постоянной частоте вращения молотильного барабана  $n = 450 \text{ мин}^{-1}$  на дробление и недомолот семян сои.



а

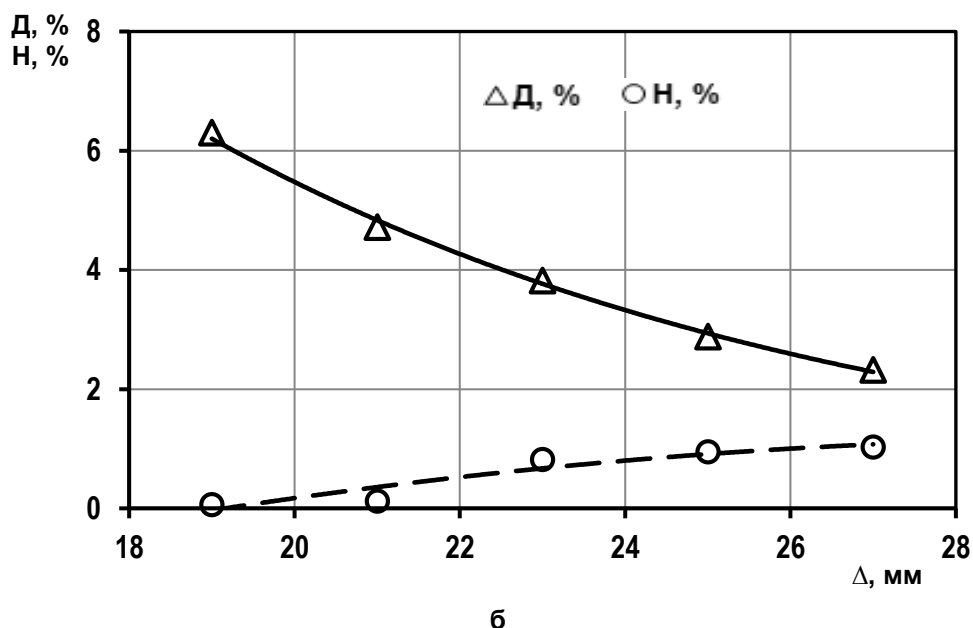


Рис. 2. Влияние режима работы МСУ комбайна Lexion 580 на дробление (Д) и недомолот (Н) семян сои: а – влияние частоты вращения основного молотильного барабана при зазоре на выходе  $\Delta_{\text{вых}} = 25$  мм; б – влияние величин зазоров на выходе молотильного барабана при постоянной частоте вращения основного молотильного барабана  $n = 400$  мин<sup>-1</sup>

Экспериментальная зависимость влияния частоты вращения основного барабана на дробление зерновок удовлетворительно описывается уравнением

$$D = 0,2425 \cdot e^{0,0056n} \text{ при уровне достоверности } R^2 = 0,9821, \quad (3)$$

где  $n$  – частота вращения барабана, мин<sup>-1</sup>.

Экспериментальная зависимость дробления зерновок от зазора при постоянной частоте вращения основного молотильного барабана удовлетворительно описывается уравнением

$$D = 66,17 \cdot e^{-0,125\Delta}, \text{ при уровне достоверности } R^2 = 0,9975, \quad (4)$$

где  $\Delta$  – зазор на выходе между барабаном и декой, мм.

Как видно из рисунка 2, а, дробление зерновок менее 3,0% наблюдается при частоте вращения основного барабана не выше 450 мин<sup>-1</sup>, а недомолот бобов при частоте вращения барабана 450 мин<sup>-1</sup> достигает не более 1,0% и снижается до 0,5% с увеличением частоты вращения молотильного барабана до 500 мин<sup>-1</sup>. При такой частоте вращения барабана дробление уже превышает 4,0% и возрастает до 5,5% при частоте 550 мин<sup>-1</sup>. Дальнейшее повышение частоты вращения барабана при зазоре на выходе  $\Delta = 25$  мм приводит к дроблению зерновок сои более 6,0%. Увеличение зазора на выходе между барабаном и декой до 25–27 мм при частоте вращения молотильного барабана 450 мин<sup>-1</sup> позволяет снизить дробление до 2,7%, при этом недомолот бобов снижается до 1,1% (рис. 2, б).

Уменьшение зазоров в основном молотильном барабане в пределах рекомендованных электронной системой настройки Auto Crop Adjust не приводит к такому существенному росту дробления зерновок, как повышение частоты вращения барабана. Уменьшение зазоров на выходе с 20 до 12 мм ведет к росту дробления с 3,0 до 7,8% при частоте вращения основного молотильного барабана 400 мин<sup>-1</sup>. Следует отметить, что электрогидравлическая система изменения зазоров в МСУ комбайна позволяет синхронно увеличивать или уменьшать зазоры не только на выходе и входе основного барабана, но и барабана ускорителя с учетом первоначально установленных вручную так называемых «установочных» зазоров.

Таким образом, зерноуборочные комбайны с комбинированной молотильно-сепарирующей системой при должной настройке можно рекомендовать для уборки сои на

семенные цели. При этом необходимо учитывать тот факт, что на территории Республики Беларусь предприятием ОАО «Гомсельмаш» освоено серийное производство зерноуборочного комбайна КЗС-1624-1 «ПАЛЕССЕ GS16», который успешно прошел государственные испытания, в том числе и на территории Российской Федерации. Комбайн имеет аналогичную зерноуборочному комбайну Lexion компоновку и основные органы МСУ, включая двухпоточную сепарирующую систему, но отличается существенно более низкой ценой. Учитывая наличие на территории РФ нескольких совместных сборочных производств, комбайны марки КЗС-1624-1 «ПАЛЕССЕ GS16», при соответствующей надежности, составят конкуренцию зерноуборочным комбайнам фирмы Claas.

На рисунке 3 приведены графические зависимости дробления сои при ее уборке с настройкой режима работы молотилки и очистки комбайна марки John Deere S660 с помощью бортовой электронной системы управления и влияния величин зазоров на повреждение зерновок сои и их недомолот. При отборе образцов зазор между бичами молотильной части ротора и декой на выходе составлял  $\Delta_{\text{вых}} = 20$  мм. Частоту вращения ротора изменяли в пределах  $n = 350\text{--}550$  мин<sup>-1</sup>, что не выходило за диапазон рекомендуемых значений.

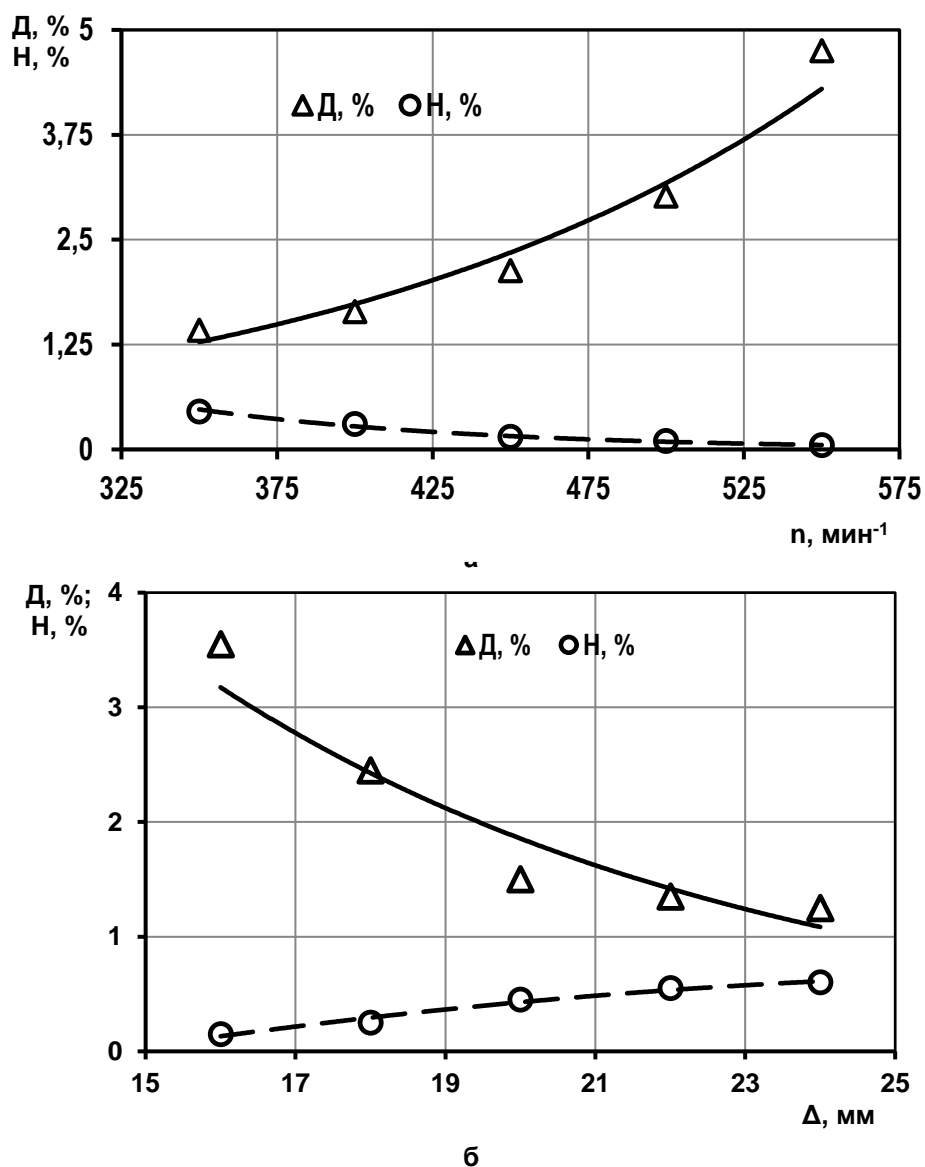


Рис. 3. Влияние режима работы молотильной части МСУ комбайна John Deere S660 на дробление (Д) и недомолот (Н) семян сои: а – влияние частоты вращения ротора при зазоре на выходе  $\Delta_{\text{вых}} = 20$  мм; б – влияние величин зазоров на выходе из молотильной части ротора МСУ при его постоянной частоте вращения  $n = 350$  мин<sup>-1</sup>



Экспериментальная зависимость дробления зерновок от частоты вращения ротора удовлетворительно описывается уравнением

$$D = 0,1541 \cdot e^{0,0061n} \text{ при уровне достоверности } R^2 = 0,96, \quad (5)$$

где  $n$  – частота вращения ротора,  $\text{мин}^{-1}$ .

Экспериментальную зависимость дробления зерновок от зазоров можно описать уравнением

$$D = 27,165 \cdot e^{-0,134\Delta} \text{ при уровне достоверности } R^2 = 0,90, \quad (6)$$

где  $\Delta$  – зазор на выходе между бичами молотильной части ротора и кожухом, мм.

Как видно из данных, приведенных на рисунке 3, а, дробление зерновок сои при зазоре между бичами ротора и декой на выходе  $\Delta_{\text{вых}} = 20$  мм и частоте вращения ротора менее  $500 \text{ мин}^{-1}$  не превышает 3,0%. Снижение частоты вращения ротора до  $400\text{--}420 \text{ мин}^{-1}$  уменьшает повреждение зерновок до значений, не превышающих 2,0%. При этом режиме недомолот бобов составляет не более 0,3%, а максимальное значение недомолота в опытах было зафиксировано при частоте вращения ротора  $350 \text{ мин}^{-1}$  и составило 0,53%. Поэтому в дальнейших опытах частота вращения ротора была выбрана  $350 \text{ мин}^{-1}$ , а зазоры между бичами молотильной части ротора и декой на выходе изменяли в пределах 16–24 мм с шагом 2 мм. Как видно из рисунка 3, б, дробление зерновок сои меньше 2,0% наблюдается уже при зазоре 20 мм. Дальнейшее увеличение зазоров на выходе уменьшает повреждение зерновок, которое плавно приближается к 1,25% при повышении недомолота бобов до 0,75%. Незначительный рост недомолоченных бобов в ворохе можно объяснить наличием в молотилке комбайна устройства активного домолота необмолоченных компонентов вороха, которое представляет собой короткий молотильный ротор с планками бильной конструкции и подбарабаньем. Так, при увеличении зазоров между бичами молотильной части ротора и кожухом на выходе с 22 до 24 мм дробление зерновок снижалось всего на 0,1%. Это можно объяснить тем фактом, что зерновки повреждаются и другими рабочими органами, в том числе и транспортирующими.

### Выводы

Результаты проведенных исследований комбайнов различных производителей с разным типом молотильно-сепарирующих систем на уборке посевов сои на кормовые и семенные цели позволяют рекомендовать наиболее эффективные из них с точки зрения уменьшения повреждения зерновок и снижения потерь.

Лучшие показатели отмечены по обмолоте сои зерноуборочным комбайном John Deere S660 с роторным молотильно-сепарирующим устройством при частоте вращения ротора  $n = 350 \text{ мин}^{-1}$  и зазоре между бичами молотильной части ротора и декой 20–22 мм. При таких настроечных параметрах дробление зерновок сои снижается до 2,0%, недомолот не превышает 0,75%.

Для уборки семенных посевов можно использовать зерноуборочные комбайны с комбинированной молотильно-сепарирующей системой фирмы Claas серий Lexion и Tiscano. Так, при частоте вращения основного молотильного барабана не более  $350 \text{ мин}^{-1}$  и зазоре на выходе  $\Delta_{\text{вых}} = 22$  мм доля поврежденных зерновок не превышает 3,0%.

Зерноуборочные комбайны барабанного типа с одним молотильным барабаном можно рекомендовать для уборки кормовых посевов и посевов на товарные цели. Комбайн Acros 585 Plus при частоте вращения молотильного барабана  $n = 350 \text{ мин}^{-1}$  и зазоре на выходе  $\Delta_{\text{вых}} = 20$  мм позволяет снижать дробление зерновок сои до 3,2–4,0% при недомолоте бобов около 4,0%.

### Список источников

1. Бельшикина М.Е., Старостин И.А., Загоруйко М.Г. Пути совершенствования технологии уборки и послеуборочной доработки сои // Аграрный научный журнал. 2020. № 8. С. 4–9. DOI 10.28983/asj.y2020i8pp4-9.
2. Бурьянов А.И., Дмитриенко А.И. Направления совершенствования уборочных процессов // Техника и оборудование для села. 2010. № 10. С. 13–16.

3. Гиевский А.М., Чернышов А.В., Маслов Д.Л. и др. Обоснование режима работы молотильно-сепарирующего устройства комбайна при уборке сои // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2019. Т.12, № 1(60). С. 50–56. DOI 10.17238/issn2071-2243.2019.1.50.

4. Липкань А.В. Проблемы и перспективы совершенствования зональных уборочно-транспортных машин высокой проходимости // Вестник Дальневосточного государственного аграрного университета. 2007. № 3(3). С. 43–50.

5. Панасюк А.Н., Кувшинов А.А., Мазнев Д.С. Совершенствование процесса уборки сои методом очеса на корню // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2017. № 10-2. С. 293–296.

6. Присяжная И.М., Присяжная С.П., Присяжный М.М. и др. Совершенствование процесса обмолота, сепарации и транспортирования для повышения качества семян при комбайновой уборке сои: монография. Благовещенск: Амурский государственный университет, 2018. 191 с.

7. Присяжная И.М., Присяжная С.П., Синеговская В.Т. Математическое моделирование процесса обмолота и сепарации зерна в двухфазном молотильном устройстве комбайна // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32, № 7. С. 76–79. DOI 10.24411/0235-2451-2018-10718.

8. Присяжная И.М., Снеговский М.О., Присяжная С.П. Совершенствование процесса уборки сои как способ повышения качества семян // Российская сельскохозяйственная наука. 2019. № 5. С. 71–75. DOI 10.31857/S2500-26272019571-75.

9. Тарасенко А.П. Снижение травмирования семян при уборке и послеуборочной обработке. Воронеж: ФГОУ ВПО Воронежский ГАУ, 2003. 331 с.

10. Тарасенко А.П., Орбинский В.И., Тертычная Т.Н. и др. Влияние типа комбайнов на качество получаемого зернового вороха гречихи // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2012. № 2(33). С. 132–134.

11. Тарасенко А.П. Роторные зерноуборочные комбайны: учебное пособие. Санкт-Петербург: Лань, 2021. 192 с.

12. Федорова О.А. Эффективные технические решения повышения качества уборки зерновых культур : автореферат дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.01. Рязань, 2018. 39 с.

13. Царев Ю.А., Трасковский С.С. Методика определения диапазонов регулирования параметров настройки зерноуборочных комбайнов // Вестник Донского государственного технического университета. 2009. Т. 9, № 4(43). С. 718–723.

14. Цепляев А.Н., Дугин Ю.А. Особенности конструкции вальцового молотильного аппарата для обмолота зернообовых культур // Вестник АПК Волгоградской области. 2005. № 1. С. 21.

15. Astanakulov K., Abdillaev T., Fozilov G., et al. Monitoring of the Combine with Smart Devices in Soybean Harvesting // E3S Web of Conferences: Supporting Sustainable Development by GIST, Tashkent, 2021. Vol. 227. P. 07003. DOI: 10.1051/e3sconf/202122707003.

16. Prisyazhnaya I.M., Sinegovskaya V.T., Prisyazhnaya S.P., Sinegovskii M.O. Harvester and transporting device development for high-quality soybean seeds obtaining // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Volgograd, Krasnoyarsk: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020. Vol. 548. P. 62078. DOI 10.1088/1755-1315/548/6/062078.

## References

1. Belyshkina M.E., Starostin I.A., Zagoruiko M.G. Puti sovershenstvovaniya tekhnologii uborki i posleuborochnoj dorabotki soi [Ways to improve cleaning technology and post-harvest processing of soybeans]. *Agrarnyj nauchnyj zhurnal = Agrarian Scientific Journal*. 2020;8:4-9. DOI: 10.28983/asj.y2020i8pp4-9. (In Russ.).

2. Buryanov A.I., Dmitrienko A.I. Napravleniya sovershenstvovaniya uborochnykh processov [Tendencies in improvement of harvesting processes]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela = Machinery and Equipment for Rural Area*. 2010;10:13-16. (In Russ.).

3. Gievsky A.M., Chernyshov A.V., Maslov D.L., et al. Obosnovanie rezhima raboty molotil'no-separiruyushchego ustrojstva kombajna pri uborke soi [Provision of a rationale for the mode of operation of the threshing and separating device of the combine at soybean harvesting]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2019;12:1(60):50-56. DOI: 10.17238/issn2071-2243.2019.1.50. (In Russ.).

4. Lipkan A.V. Problemy i perspektivy sovershenstvovaniya zonal'nykh uborochno-transportnykh mashin vysokoy prokhodimosti [Problems and prospects of improvement of zonal harvesting and transport vehicles of high cross-country capability]. *Vestnik Dal'nevostochnogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Herald of the Far Eastern State Agrarian University*. 2007;3(3):43-50. (In Russ.).

5. Panasyuk A.N., Kuvshinov A.A., Maznev D.S. Sovershenstvovanie protsessa uborki soi metodom ochyosa na kornyu [Soy cleaning process improvement by the tow method on root]. *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy = International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2017;10-2:293-296. (In Russ.).

6. Prisyazhnaya I.M., Prisyazhnaya S.P., Prisyazhny M.M., et al. Sovershenstvovanie protsessa obmolota, separatsii i transportirovaniya dlya povysheniya kachestva semyan pri kombajnoy uborke soi: monografiya [Improving the process of threshing, separation and transportation in order to upgrade the quality of seeds during combine harvesting of soybeans: monograph]. Blagoveshchensk: Amur State University Press; 2018. 191 p. (In Russ.).

7. Prisyazhnaya I.M., Prisyazhnaya S.P., Sinegovskaya V.T. Matematicheskoe modelirovanie protsessa obmolota i separatsii zerna v dvukhfaznom molotil'nom ustrojstve kombajna [Mathematical modeling of the processes of threshing and separation of grain in a two-stage threshing combine]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AIC*. 2018;32:7:76-79. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10718. (In Russ.).

8. Prisyazhnaya I.M., Snegovsky M.O., Prisyazhnaya S.P. Sovershenstvovanie protsessa uborki soi kak sposob povysheniya kachestva semyan [Improvement of the soybean harvesting process as a way to upgrade the quality of seeds]. *Rossijskaya sel'skokhozyajstvennaya nauka = Russian Agricultural Sciences* 2019;5:71-75. DOI: 10.31857/S2500-26272019571-75. (In Russ.).
9. Tarasenko A.P. Snizhenie travmirovaniya semyan pri uborke i posleuborochnoj obrabotke [Reduction of seed injury during harvesting and post-harvest processing]. Voronezh: Voronezh State Agrarian University Press; 2003. 331 p. (In Russ.).
10. Tarasenko A.P., Orobinsky V.I., Tertychnaya T.N., et al. Vliyanie tipa kombajnov na kachestvo poluchaemogo zernovogo vorokha grechikhi [The influence of the type of combines on the quality of buckwheat grain]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2012;2(33):132-134. (In Russ.).
11. Tarasenko A.P. Rotornye zernoborochnye kombajny. Uchebnoe posobie [Rotary combine harvesters. Textbook]. Saint Petersburg: Lan' Press; 2021. 192 p. (In Russ.).
12. Fedorova O.A. Effektivnye tekhnicheskie resheniya povysheniya kachestva uborki zemovykh kul'tur [Effective technical solutions for improving the quality of harvesting grain crops]. Avtoreferat dissertatsii ... doctora tekhnicheskikh nauk = Abstract of Doctoral Dissertation in Engineering Sciences: 05.20.01. Ryazan; 2018. 39 p. (In Russ.).
13. Tsarev J.A., Traskovski S.S. Metodika opredeleniya diapazonov regulirovaniya parametrov nastrojki zernoborochnykh kombajnov [Technique of definition of control bands of parameters of customisation of combine harvesters]. *Vestnik Donskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Vestnik of Don State Technical University*. 2009;9(4):718-723. (In Russ.).
14. Tseplyaev A.N., Dugin Yu.A. Osobennosti konstruksii val'tsovogo molotil'nogo apparata dlya obmolota zemobobovykh kul'tur [Design features of a roller threshing machine for threshing leguminous crops]. *Vestnik APK Volgogradskoj oblasti = Bulletin of the Agro-Industrial Complex of the Volgograd region*. 2005;1:21. (In Russ.).
15. Astanakulov K., Abdillaev T., Fozilov G., et al. Monitoring of the Combine with Smart Devices in Soybean Harvesting. E3S Web of Conferences: Supporting Sustainable Development by GIST. Tashkent. 2021;227:07003. DOI: 10.1051/e3sconf/202122707003.
16. Prisyazhnaya I.M., Sinegovskaya V.T., Prisyazhnaya S.P., Sinegovskii M.O. Harvester and transporting device development for high-quality soybean seeds obtaining. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Volgograd, Krasnoyarsk: Institute of Physics and IOP Publishing Limited. 2020;548:62078. DOI: 10.1088/1755-1315/548/6/062078.

#### Информация об авторах

А.М. Гиевский – доктор технических наук, профессор кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», [aleksej.gievskij@mail.ru](mailto:aleksej.gievskij@mail.ru).

В.И. 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).

А.В. Чернышов – кандидат технических наук, доцент кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», [lexa-c@yandex.ru](mailto:lexa-c@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0001-9302-9934>.

И.В. Баскаков – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», [vasich2@yandex.ru](mailto:vasich2@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0001-6041-5943>.

Р.А. Дружинин – кандидат технических наук, доцент кафедры технологического оборудования, процессов перерабатывающих производств, механизации сельского хозяйства и безопасности жизнедеятельности ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», [roman.druzhinin@mail.ru](mailto:roman.druzhinin@mail.ru).

#### Information about the authors

A.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, [aleksej.gievskij@mail.ru](mailto:aleksej.gievskij@mail.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).

A.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, [lexa-c@yandex.ru](mailto:lexa-c@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0001-9302-9934>.

I.V. Baskakov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, the Dept. of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, [vasich2@yandex.ru](mailto:vasich2@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0001-6041-5943>.

R.A. Druzhinin, Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Technological Equipment, Processing Plants' Processes, Agricultural Engineering, Health and Safety, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, [roman.druzhinin@mail.ru](mailto:roman.druzhinin@mail.ru).

Статья поступила в редакцию 16.02.2022; одобрена после рецензирования 23.03.2022; принята к публикации 29.03.2022.

The article was submitted 16.02.2022; approved after revision 23.03.2022; accepted for publication 29.03.2022.

© Гиевский А.М., Орбинский В.И., Чернышов А.В., Баскаков И.В., Дружинин Р.А., 2022