

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

Научная статья

УДК 631.361.24

DOI: 10.53914/issn2071-2243\_2022\_3\_12

### Рациональная схема питателя стационарной молотилки очесанного вороха

Владимир Васильевич Василенко<sup>1✉</sup>, Сергей Владимирович Василенко<sup>2</sup>,  
Иван Васильевич Баскаков<sup>3</sup>

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

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

**Аннотация.** Стационарный обмолот зерновых культур предусматривает предварительный отрыв колосьев от стеблей, в результате чего получается зерновой ворох, состоящий из необмолоченных колосьев без соломки и некоторой доли освобожденного зерна, который перевозится с поля к стационарным молотилкам. В отличие от зерноуборочных комбайнов стационарные молотилки зерновых культур позволяют снижать количество поврежденного зерна за счет удаления свободных зерновок до того, как они попадут в молотильное устройство. Для этого надо ориентировать подачу зернового вороха вдоль скребкового транспортера по ходу движения вниз, что улучшает условия выделения свободного зерна из потока вороха и устраняет его дальнейший (повторный) обмолот. Наиболее простым способом реализации выделения зерна по всему днищу транспортера является его перфорация щелевыми отверстиями, из которых зерно попадает сразу на решетчатый стан. Щели ориентированы длинной стороной поперек направления движения транспортера так же, как и большинство зерен, подталкиваемых скребками транспортера. Встречную кромку отверстий полезно отогнуть вниз на половину толщины зерен, чтобы они меньше повреждались, а колосья не цеплялись за кромку. Рациональная ширина отверстий зависит от размеров зерновок и колосьев, от угла наклона транспортера и его скорости, поэтому днище транспортера должно быть сменным. Получены аналитические зависимости для расчета ширины отверстий. При поперечных размерах зерна 5 мм, колосьев 8 мм и скорости транспортера 1,5 м/с минимально возможная ширина отверстий должна быть равна 24 мм, а максимальная – 31 мм, при этих значениях исключается проход необмолоченных колосьев.

**Ключевые слова:** очесанный ворох, травмирование зерна, наклонный транспортер, щелевые отверстия, отвод свободного зерна

**Для цитирования:** Василенко В.В., Василенко С.В., Баскаков И.В. Рациональная схема питателя стационарной молотилки очесанного вороха // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2022. Т. 15, № 3(74). С. 12–18. [https://doi.org/10.53914/issn2071-2243\\_2022\\_3\\_12](https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2022_3_12)–18.

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

Original article

### Rational diagram of the feeder for stationary thresher of combed grain heap

Vladimir V. Vasilenko<sup>1✉</sup>, Sergei V. Vasilenko<sup>2</sup>, Ivan V. Baskakov<sup>3</sup>

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

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

**Abstract.** Stationary threshing of grain crops provides for the preliminary separation of the ears from the stems, resulting in a grain heap consisting of unthreshed ears without straw and a certain proportion of the released grain, which is transported from the field to stationary threshers. Unlike combine harvesters, stationary threshers of grain crops allow reducing the amount of damaged kernels due to removing separate ones before they enter into the threshing device. In order to prevent this, it is necessary to orient the grain pile feeding along the scraper conveyor in the downward direction, which improves the extraction of free kernels from the pile flow and eliminates their further rethreshing. The simplest method to realize the process of separation along the full length of the bottom of the conveyor is its perforation with slotted holes, through which the kernels get directly to the sieve mill. The slotted holes are oriented with the long side across the direction of the conveyor movement in an analogous way as the most of grains pushed by the conveyor scrapers. It is preferable to bend the opposite edge of the holes down by half the thickness of the kernels so that they are less damaged, and the ears are not retained by the edge. The rational width of the holes depends on the size of the kernel and ears, as well as on the angle of inclination of the conveyor and its speed, so the bottom of the conveyor must be replaceable. The authors derived analytical dependences for calculating the width of the holes: with lateral kernel and ears dimensions of 5 and 8 mm, respectively, and a conveyor speed of 1.5 m/s, the minimum possible width of the holes should be of 24 mm, and the maximum of 31 mm, at these values, the passage of unthreshed ears is excluded.

**Key words:** combed heap, grain damage, inclined conveyor, slotted holes, free kernels extraction

**For citation:** Vasilenko V.V., Vasilenko S.V., Baskakov I.V. Rational diagram of the feeder for stationary thresher of combed grain heap. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2022;15(3):12-18. (In Russ.). [https://doi.org/10.53914/issn2071-2243\\_2022\\_3\\_12](https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2022_3_12)–18.

**Введение**

Как известно, в процессе уборки и послеуборочной обработки на зерновую массу многих культур оказывают влияние различные машины и механизмы, которые в той или иной степени повреждают его. Велики косвенные потери зерна из-за дробления и травмирования, даже микроповреждения зерновок уменьшают срок хранения в связи с тем, что такое зерно быстро портится [5, 7]. Особенно важно уберечь семенной материал от травмирования, так как оно снижает всхожесть семян и энергию прорастания. Для зерна наиболее опасными элементами технологии уборки и послеуборочной обработки являются подача зернового вороха в молотильное устройство, процесс обмолота, очистка зерна на решетках и транспортировка к бункерам [6, 8].

Наибольшие повреждения зерно получает в молотильных устройствах, поэтому есть предложения по предварительному обмолоту в щадящем режиме и отводу зерна в бункер, минуя молотильный барабан [9]. Но в очесанном ворохе уже находится свободное зерно, оно также может выпадать из колосьев во время подачи его в молотильный барабан, особенно если оно сухое и полностью созрело. Это свободное зерно желательно отвести от молотильного устройства и направить на решетный стан для очистки. Таким приемом можно снизить травмирование, а также затраты энергии. Однако в современных зерноуборочных комбайнах и стационарных молотилках нет такой возможности, и подача зернового вороха осуществляется наклонным скребковым транспортером без предварительной сепарации.

Существуют запатентованные технические решения, в частности сепарирующие устройства в кожухе наклонно-плавающего транспортера зерноуборочного комбайна [3, 4], которые полностью не исключают повреждение зерна в процессе подачи на обмолот. В одном из них применяется наклонный шнек для подъема зерна к молотильному барабану, а в другом не обеспечивается необходимая пропускная способность устройства. Известно, что шнеки повреждают зерно больше, чем другие транспортирующие органы [1], а второе техническое решение может быть реализовано только по отношению к верхней части наклонного транспортера.

В зерноуборочных комбайнах расширить зону сепарации для выделения свободного зерна по всей длине наклонного транспортера невозможно без добавления транспортирующего устройства. Таким образом, проблема остается не до конца решенной, и сельхозтоваропроизводитель ждет от исследователей новых предложений.

**Методика расчета**

В зерноуборочном комбайне для прохода свободного зерна на очистку днище наклонного транспортера выполняется решетчатым только в верхней части, так как две другие части расположены ниже решетчатого стана, а оттуда выход зерна самотеком технически не реализуем. Поэтому наклонный транспортер устанавливается выше решетчатого стана, что возможно только в стационарных молотилках. Принцип сепарации заключается в том, что в отверстия днища проходит только зерно, а колосья продолжают движение до молотильного аппарата. Необходимо обосновать размер отверстий в перфорированном днище, учитывая скорость движения транспортера, угол его наклона, размеры зерна и колосьев [2, 10].

Методика расчета аналогична способу вычисления допустимой скорости высевающего диска с ячейками для семян с той разницей, что днище с отверстиями наклонено на некоторый угол  $\alpha$ , что увеличивает высоту падения семян в пределах отверстия (рис. 1).

Кинематический анализ движения падающего в отверстие зерна доказывает, что подачу зернового вороха следует осуществлять вдоль наклонного транспортера по ходу движения вниз, что улучшает условия выделения свободного зерна из потока вороха и устраняет его дальнейший (повторный) обмолот. Если зерновой ворох подается вверх, то

движение зерна перед отверстием сначала замедляется, и лишь потом начинается падение. Суммарное время падения затягивается, поэтому отверстие должно быть очень широким, чтобы зерно успело в него пройти. При попутном наклоне транспортера к скорости свободного падения добавляется часть скорости его скребков, поэтому зерна проходят быстро даже в меньшие отверстия.

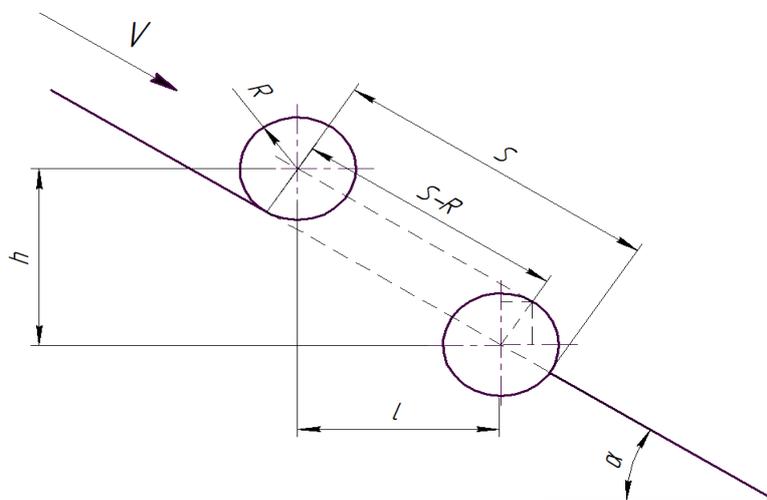


Рис. 1. Схема прохождения зерновки в отверстие решета

Для упрощения расчетов форма зерна принята овальной с круглым поперечным сечением радиуса  $R$ . Зерновой ворох перемещается по решетчатому днищу скребковым транспортером со скоростью  $V$ . Перед каждым скребком большинство зерен располагается длинной осью параллельно скребку. По мере продвижения скребка число зерен уменьшается, и все оставшиеся движутся параллельно скребку. С такой ориентацией зерен наиболее рациональна щелевая форма отверстий. Ширина щели  $S$  должна быть минимально возможной для прохождения зерна, чтобы колосья оставались на днище. Падение семени начинается, когда его вертикальный диаметр совпадает с началом щели, а заканчивается ударом семени о противоположную кромку. Семя считается прошедшим в отверстие, если успеет опуститься от плоскости решета на половину своего диаметра. Для этого необходимо, чтобы время падения на глубину  $h$  было меньше времени полета на расстояние  $l$ . Эти расстояния можно вычислить по следующим равенствам:

$$l = (S - R) \cos \alpha - R \sin \alpha, \quad (1)$$

$$h = (S - R) \sin \alpha + R \cos \alpha, \quad (2)$$

где  $l$  – расстояние полета семени по горизонтали, м;

$S$  – ширина щели, м;

$R$  – радиус поперечного сечения зерновки, м;

$\alpha$  – угол наклона транспортера;

$h$  – глубина падения семени, м.

Время полета семени на длину  $l$  зависит от дальности полета, скорости  $V$  транспортера и угла  $\alpha$ :

$$t_1 = \frac{l}{V \cos \alpha} = \frac{(S - R) \cos \alpha - R \sin \alpha}{V \cos \alpha} = \frac{S - R - R \operatorname{tg} \alpha}{V}, \quad (3)$$

где  $t_1$  – время полета семени над отверстием, с;

$V$  – скорость движения транспортера, м/с.

Время падения семени на глубину  $h$  рассчитывается с учетом скорости свободного падения и скорости движения транспортера:

$$t_2 = \frac{(S - R) \sin \alpha + R \cos \alpha}{\sqrt{0,5g[(S - R) \sin \alpha + R \cos \alpha]} + V \sin \alpha}, \quad (4)$$

где  $t_2$  – время падения семени на глубину  $h$ , с;  
 $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

Для прохождения семени через отверстие необходимо, чтобы  $t_2 \leq t_1$ . Принимаем предельный случай  $t_2 = t_1$ , при котором ширина щелевого отверстия является наименьшей, и определяем ее величину в операционной среде Mathcad. Для этого вводятся исходные данные  $g$ ,  $R$ ,  $V$ ,  $\alpha$  и пределы изменения параметра  $S$ . По выражениям (3) и (4) строятся две кривые на одном графике в функции от  $S$ , и на их пересечении определяют минимальную ширину щелевого отверстия.

### Результаты и их обсуждение

Число вариантов исходных данных можно уменьшить, если некоторые из них выбрать с логической аргументацией. Угол наклона транспортера не должен превышать угол трения зернового вороха по стали во избежание самотека материала из приемного бункера при остановках молотилки. В расчетах принято  $\alpha = 20^\circ$ . Максимальный поперечный размер зерна пшеницы принят 5 мм, откуда  $R = 0,0025$  м. Минимальный поперечный размер колосьев, требующих обмолота, принят 8 мм, отсюда непроходным размером принято считать  $R = 0,004$  м.

Остаются вариации по скорости движения транспортера. При скорости  $V = 1,5$  м/с для прохода семени в щелевое отверстие днища ширина щели должна быть больше 23 мм (рис. 2). Расчеты показывают, что колосья могут выпадать из потока только через отверстия шириной более 32 мм. Следовательно, для успешной сепарации надо выбрать ширину отверстий 24–31 мм. Варианты с другими скоростями движения транспортера показаны в таблице.

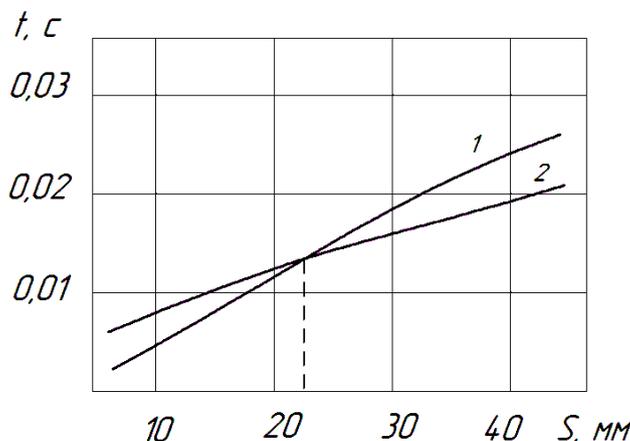


Рис. 2. График времени выхода семени из потока зернового вороха:  
 1 – время полета семени по горизонтали; 2 – время падения в отверстие днища

### Возможные размеры отверстий в днище транспортера

Скорость транспортера, м/с	Критическая ширина щели, мм		Рациональная ширина щели, мм
	для прохода зерна	для прохода колосьев	
1,0	18	25	19–24
1,5	23	32	24–31
2,0	28	36	29–35
2,5	31	42	32–41
3,0	35	49	36–48

В расчетах приняты следующие исходные данные:

- $\alpha = 20^\circ$ ;
- максимальный поперечный размер зерновок – 5 мм;
- минимальный поперечный размер колосьев – 8 мм.

Полученные расчетные данные подтвердили возможность улучшения процесса выделения свободного зерна из потока зернового вороха при стационарном обмолоте после уборки зерновых культур способом очеса. Улучшение качества может быть достигнуто за счет подъема питающего наклонного транспортера, снабженного решетчатым днищем. Авторами предлагается рациональная схема стационарной молотилки (рис. 3) и вариант выполнения решетчатого днища (рис. 4).

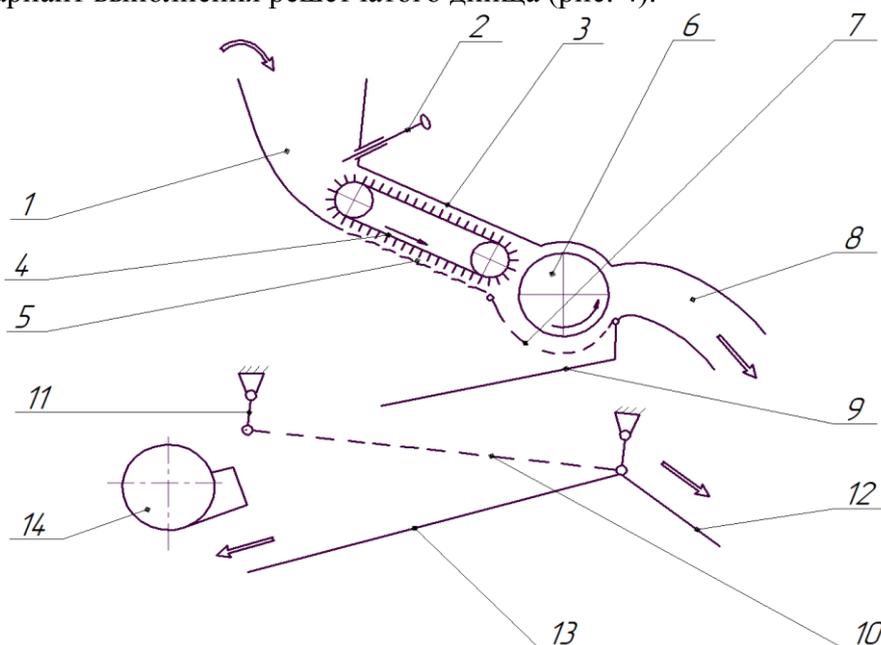


Рис. 3. Принципиальная схема стационарной молотилки:

- 1 – загрузочный бункер; 2 – регулятор подачи; 3 – наклонная камера; 4 – наклонный транспортер; 5 – решетчатое днище; 6 – молотильный барабан; 7 – подбарабанье; 8 – канал для отвода фрагментов соломы и половы; 9 – скатная доска; 10 – решето; 11 – подвеска решета; 12 – отвод половы; 13 – отвод очищенного зерна; 14 – вентилятор

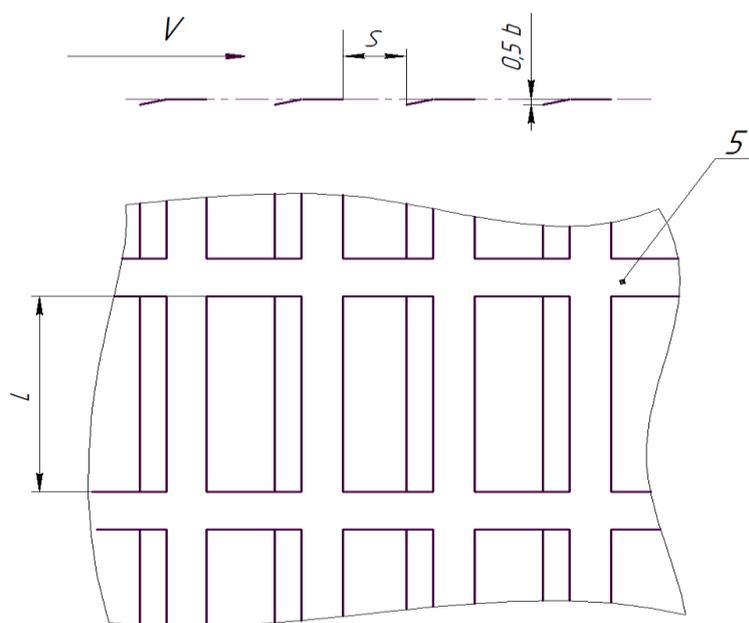


Рис. 4. Фрагмент решетчатого днища в двух проекциях

Перфорированное днище наклонного транспортера может быть сменным в соответствии с размерами зерен и колосьев убираемой культуры. Встречная кромка щелевых отверстий может быть отогнута вниз на половину толщины зерновки для создания скользящего удара, уменьшающего вероятность повреждений семенного материала и устраняющего возможности залипания колосьев.

### **Выводы**

Стационарные молотилки зерновых культур в отличие от зерноуборочных комбайнов позволяют ориентировать подачу зернового вороха по ходу движения вниз вдоль наклонного скребкового транспортера. Это улучшает процесс выделения свободного зерна из вороха и устраняет его повторный обмолот.

Самым простым вариантом реализации выделения зерна по всему днищу транспортера является выполнение днища перфорированным щелевыми отверстиями, через которые зерно выпадает сразу на решетный стан. Щели ориентированы длинной стороной поперек направления движения транспортера так же, как и большинство зерен, подталкиваемых скребками транспортера.

Встречную кромку отверстий рекомендуется выполнять отогнутой вниз на половину толщины зерновки, тем самым снижая повреждаемость и устраняя возможность зацепления колосьев за кромку. Рациональная ширина отверстий зависит от размеров зерновок и колосьев, от угла наклона транспортера и его скорости, поэтому днище транспортера должно быть сменным.

Получены аналитические зависимости для расчета ширины отверстий: при поперечных размерах зерна 5 мм, колосьев 8 мм и скорости транспортера 1,5 м/с минимально возможная ширина отверстий равна 24 мм, а максимальная – 31 мм, при этих значениях исключается проход необмолоченных колосьев.

---

### **Список источников**

1. Ахматов А.А., Оробинский В.И., Солнцев В.Н. Травмирование зерна шнековым питающим устройством // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2015. № 4(47). С. 98–101.
2. Лукьяненко В.Д., Шацкий В.П., Оробинский В.И. О скорости подачи зернового вороха на криволинейные сепарирующие поверхности // Проблемы развития технологий создания, сервисного обслуживания и использования технических средств в агропромышленном комплексе: материалы международной научно-практической конференции (Воронеж, 15–16 ноября 2017 г.). Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2017. С. 67–71.
3. Наклонная камера зерноуборочного комбайна: пат. 2566015 Рос. Федерация. № 2014135980-13; заявл. 03.09.14; опубл. 20.10.15. Бюл. № 29. 4 с.
4. Наклонная камера зерноуборочного комбайна: пат. 2577892 Рос. Федерация. № 2014145875-13; заявл. 14.11.14; опубл. 20.03.16. Бюл. № 8. 4 с.
5. Оробинский В.И., Корнев В.С., Посохов Д.Н., Подорванов Д.А. Улучшение качества послеуборочной обработки семян // Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе: материалы международной научно-практической конференции (Воронеж, 06–07 июня 2018 г.). Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2018. С. 144–150.
6. Тарасенко А.П. Снижение травмирования семян при уборке и послеуборочной обработке: монография. Воронеж: ФГОУ ВПО Воронежский ГАУ, 1983. 331 с.
7. Тарасенко А.П., Оробинский В.И., Гиевский А.М. и др. Снижение травмирования зерна при послеуборочной обработке // Вестник аграрной науки Дона. 2019. № 5(45). С. 63–68.
8. Тарасенко А.П., Оробинский В.И. Совершенствование механизации производства семян // Сельский механизатор. 2019. № 8. С. 14–15.
9. Устройство предварительного обмолота зерна: пат. 2601226 Рос. Федерация. № 2015140384-13; заявл. 22.09.15; опубл. 27.10.16. Бюл. № 30. 4 с.
10. Харитонов М.К., Гиевский А.М., Баскаков И.В., Михайлов В.С. К обоснованию угла установки колосовых решет в решетном стане // Наука и образование. 2019. Т. 2, № 4. С. 250.

## References

1. Akhmatov A.A., Orobinsky V.I., Solntsev V.N. Travmirovaniye zerna shnekovym pitayushchim ustroystvom [Grain damage by force fed auger]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2015;4(47):98-101. (In Russ.).
2. Lukyanenko V.D., Shatsky V.P., Orobinsky V.I. O skorosti podachi zernovogo vorokha na krivoliniynye separiruyushchie poverkhnosti [On the feed rate of a grain heap on curvilinear separating surfaces]. *Problemy razvitiya tekhnologij sozdaniya, servisnogo obsluzhivaniya i ispol'zovaniya tekhnicheskikh sredstv v agropromyshlennom komplekse: materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii (Voronezh, 15–16 noyabrya 2017 g.) [Problems of development of technologies for the creation, maintenance and use of technical means in Agro-Industrial Complex: proceedings of the International Scientific and Practical Conference (Voronezh, November 15-16, 2017)]. Voronezh: Voronezh State Agrarian University Press; 2017: 67-71. (In Russ.).*
3. Naklonnaya kamera zernoborochnogo kombayna [Inclined chamber of a grain harvester]: patent 2566015 Ros. Federatsiya. № 2014135980-13; zayavleno 03.09.2014; opublikovano 20.10.2015. Byul. № 29 = Patent 2566015 Russian Federation. No. 2014135980-13, claimed 03.09.2014; published 20.10.2015. Bulletin 29. 4 p. (In Russ.).
4. Naklonnaya kamera zernoborochnogo kombayna [Inclined chamber of a grain harvester]: patent 2577892 Ros. Federatsiya. № 2014145875/13; zayavleno 14.11.2014; opublikovano 20.03.2016. Byul. № 8 = Patent 2577892 Russian Federation. No. 2014145875/13, claimed 14.11.2014; published 20.10.2016. Bulletin 8. 4 p. (In Russ.).
5. Orobinsky V.I., Kornev V.S., Posokhov D.N., Podorvanov D.A. Uluchshenie kachestva posleuborochnoy obrabotki semyan [Improving the quality of post-harvest seed treatment]. *Energoeffektivnost' i energosberezhenie v sovremennom proizvodstve i obshchestve: materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii (Voronezh, 06-07 iyunya 2018 g.) [Energy efficiency and energy saving in modern production and society: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference (Voronezh, June 06-07, 2018)]. Voronezh: Voronezh State Agrarian University Press; 2018: 144-150. (In Russ.).*
6. Tarasenko A.P. Snizhenie travmirovaniya semyan pri uborke i posleuborochnoy obrabotke: monografiya [Reduction of injury of seeds during harvesting and post-harvest processing: monograph]. Voronezh: Voronezh State Agrarian University Press; 1983. 331 p. (In Russ.).
7. Tarasenko A.P., Orobinsky V.I., Gievsky A.M. et al. Snizhenie travmirovaniya zerna pri posleuborochnoy obrabotke [Reducing grain damage during post-harvest processing]. *Vestnik agrarnoy nauki Dona = Don Agrarian Science Bulletin*. 2019;5(45):63-68. (In Russ.).
8. Tarasenko A.P., Orobinsky V.I. Sovershenstvovanie mekhanizatsii proizvodstva semyan [Improving the mechanization of seed production]. *Sel'skiy mekhanizator = Selskiy Mechanizator*. 2019;8:14-15. (In Russ.).
9. Ustroystvo predvaritel'nogo obmolota zerna [Grain pre-threshing device]: patent 2601226 Ros. Federatsiya. № 2015140384/13; zayavleno 22.09.2015; opublikovano 27.10.2016. Byul. № 30 = Patent 2601226 Russian Federation. No. 2015140384/13, claimed 22.09.2015; published 27.10.2016. Bulletin 30. 4 p. (In Russ.).
10. Kharitonov M.K., Gievsky A.M., Baskakov I.V., Mikhaylov V.S. K obosnovaniyu ugla ustanovki kolosovykh reshchet v reshetnom stane [To the substantiation of the angle of installation of tailings screens in the sieve shoe]. *Nauka i obrazovanie = Science and Education*. 2019;2(4):250. (In Russ.).

## Информация об авторах

В.В. Василенко – доктор технических наук, профессор кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», vladva.vasilenko@yandex.ru.

С.В. Василенко – кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной механики ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», tuli-fruli@mail.ru.

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.

## Information about the authors

V.V. Vasilenko, Doctor of Engineering Sciences, Professor, the Dept. of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, vladva.vasilenko@yandex.ru, smachin@agroeng.vsau.ru.

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

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.

Статья поступила в редакцию 10.06.2022; одобрена после рецензирования 21.07.2022; принята к публикации 02.08.2022.

The article was submitted 10.06.2022; approved after revision 21.07.2022; accepted for publication 02.08.2022.

© Василенко В.В., Василенко С.В., Баскаков И.В., 2022