

## Травмирование зерна при низкоскоростном соударении с поверхностями рабочих органов подъемно-транспортных машин

**Виктор Иванович Пахомов**<sup>1,2</sup>,  
доктор технических наук, профессор;  
**Сергей Валерьевич Брагинец**<sup>1</sup>,  
кандидат технических наук,  
ведущий научный сотрудник;  
**Елена Викторовна Бенова**<sup>1</sup>,  
кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник;

**Олег Николаевич Бахчевников**<sup>1</sup>,  
кандидат технических наук, научный  
сотрудник, e-mail: oleg-b@list.ru;  
**Дмитрий Сергеевич Подлесный**<sup>2</sup>,  
ассистент

<sup>1</sup>Аграрный научный центр «Донской», г. Зерноград, Российская Федерация;

<sup>2</sup>Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

**Реферат.** Для снижения уровня травмирования зерна пшеницы при его послеуборочной обработке предлагают заменять стальные рабочие органы в подъемно-транспортных машинах на полимерные. *(Цель исследования)* Экспериментально определить зависимость степени травмирования зерна пшеницы от количества соударений, угла падения и материала поверхности рабочих органов подъемно-транспортных машин при движении зерна со скоростью до 3,5 метра в секунду. *(Материалы и методы)* Провели эксперименты на установке, воспроизводящей условия низкоскоростного соударения зерен пшеницы с гладкой поверхностью пластины из стали или пластика при различных углах падения и количестве ударов. *(Результаты и обсуждение)* Установили, что существенное снижение травмирования зерна при столкновении с пластиковой пластиной по сравнению со стальной – на 8-10 процентных пунктов – наблюдается лишь при углах падения 60-90 градусов и количестве ударов от 5 до 10. Выявили, что при угле падения до 60 градусов указанная разница не превышает 4 процентных пунктов и достигает нуля при угле 45 градусов. Низкую эффективность замены стальных рабочих органов на пластиковые для снижения травмирования зерна при движении с низкой скоростью объяснили слабым проявлением эффекта уменьшения потенциальной энергии деформации зерна при ударе о пластиковую поверхность при малой скорости их соударения. *(Выводы)* Определили, что при движения зерен со скоростью менее 3,5 метра в секунду в разреженном потоке без взаимодействия между ними, когда происходит соударение отдельных зерен с рабочими органами подъемно-транспортных машин, замена стальных рабочих органов на пластиковые нецелесообразна.

**Ключевые слова:** зерно пшеницы, травмирование зерна, транспортирование зерна, послеуборочная обработка зерна, пластиковые рабочие органы, подъемно-транспортные машины.

■ **Для цитирования:** Пахомов В.И., Брагинец С.В., Бенова Е.В., Бахчевников О.Н., Подлесный Д.С. Травмирование зерна при низкоскоростном соударении с поверхностями рабочих органов подъемно-транспортных машин // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2020. Т. 14. №2. С. 53-58. DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-2-53-58.

## Grain Damage in Low-Speed Collision with the Surfaces of the Hoisting-and-Transport Machines Working Parts

**Victor I. Pakhomov**,  
Dr.Sc.(Eng.), professor;  
**Sergey V. Braginetz**,  
Ph.D.(Eng.), leading researcher;  
**Elena V. Benova**,  
Ph.D.(Eng.), senior researcher;

**Oleg N. Bakhchevnikov**,  
Ph.D.(Eng.), research fellow,  
e-mail: oleg-b@list.ru;  
**Dmitry S. Podlesnyy**,  
assistant

<sup>1</sup>Agricultural Research Center “Donskoy”, Zernograd, Russian Federation;

<sup>2</sup>Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

**Abstract.** To reduce the damage level of wheat grains during its post-harvest processing, it is proposed to replace steel working parts in lifting and transporting machines with polymer ones. (*Research purpose*) Experimentally determine the dependence of the degree of wheat grain damage on the number of collisions, the incidence angle and the hoisting-and-transport machines working parts surface material when the grain moves at a speed of up to 3.5 meters per second. (*Materials and methods*) Experiments were carried out on a unit that reproduced the low-speed collision conditions of wheat grains with a smooth steel or plastic surface plate at various angles of incidence and the number of impacts. (*Results and discussion*) The authors identified a significant reduction in grain damage in a collision with a plastic plate compared to a steel plate – by 8-10 percentage points – is observed only at incidence angles of 60-90 degrees and the number of strokes from 5 to 10. It was found that at incidence angle up to 60 degrees, the specified difference didn't exceed 4 percentage points and reached zero at an angle of 45 degrees. The low efficiency of replacing steel working parts with plastic ones to reduce grain damage when driving at low speed was explained by the weak manifestation of the decrease effect in the potential energy of grain deformation upon impact on a plastic surface at a collision low speed. (*Conclusions*) The authors determined that when grains moved at a speed of less than 3.5 meters per second in a rarefied stream without interaction between them, when individual grains collided with the hoisting-and-transport machines working parts, replacing steel working parts with plastic ones was impractical.

**Keywords:** wheat grain, grain damage, grain transportation, post-harvest grain handling, plastic working parts, hoisting-and-transport machines.

**For citation:** Pakhomov V.I., Braginets S.V., Benova E.V., Bakhchevnikov O.N., Podlesnyy D.S. Travmirovaniye zerna pri nizkoskorostnom soudarenii s poverkhnostyami rabochikh organov podemno-transportnykh mashin [Grain damage in low-speed collision with the surfaces of the hoisting-and-transport machines working parts]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2020. Vol. 14. N2. 53-58 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-2-53-58.

**С**нижение уровня травмирования зерна при уборке и послеуборочной обработке остается актуальной задачей [1, 2]. Наиболее полно исследован вопрос механического повреждения рабочими органами комбайна, где зерно движется с высокой скоростью – более 20 м/с [3]. Процессы травмирования зерна при перемещении с малой скоростью – до 3,5 м/с – исследованы недостаточно. На малых скоростях происходит соударение зерен с поверхностью рабочих органов подъемно-транспортных машин, в частности норий, винтовых конвейеров, самотечных труб и силосов [4-9].

Проблема травмирования усугубляется тем, что в процессе послеуборочной обработки зерно многократно перемещается подъемно-транспортными машинами, а также из емкости в емкость, испытывая при этом неоднократные удары об их поверхности [2, 10]. Изучению влияния разного числа ударов на травмирование зерен при их транспортировке уделено недостаточно внимания. В основном рассматривают влияние скорости единичного соударения зерна с поверхностями из различных материалов на его целостность либо проводят совокупную оценку травмирования зерен в процессе послеуборочной обработки или в конкретных подъемно-транспортных машинах, без оценки возрастания доли травмированных зерен по мере увеличения количества ударов и влияния на нее угла столкновения [2, 4-14]. В последнее время появились публикации, в которых для снижения травмирования зерна в подъемно-транспортных машинах предлагают изготавливать рабочие органы не из стали, а из пластика [10, 11]. Утверждается, что использование таких рабочих органов значи-

тельно снижает травмирование зерна по сравнению со стальными [10-12]. Эти данные нуждаются в проверке и уточнении для случая низкоскоростного столкновения зерен с рабочими органами подъемно-транспортных машин.

**Цель исследования** – экспериментально определить зависимость степени травмирования зерна пшеницы от количества соударений, угла падения и материала поверхности рабочих органов подъемно-транспортных машин при движении зерна со скоростью до 3,5 м/с.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ.** Опыты проводили на экспериментальной установке, воспроизводящей условия низкоскоростного соударения зерен пшеницы с гладкой поверхностью из стали или пластика (рис. 1). Исследовали травмирование зерен при их движении в разреженном потоке.

Экспериментальная установка включала стеклянный трубопровод, закрепленный на стойках. Сверху трубопровода установлена воронка с заслонкой. Под трубопроводом размещена сборная емкость, в которой зафиксирована пластина с гладкой поверхностью.

Высота падения зерен по трубопроводу составляет на 4,2 м. При свободном падении с такой высоты зерно массой около 0,04 г достигает в конечной точке скорости 3,0-3,5 м/с. Зерна падали на гладкую пластину, установленную с возможностью вращения вокруг горизонтальной оси, что позволяло изменять угол столкновения зерна с ее поверхностью. В ходе опытов использовали 3 варианта расположения пластины, обеспечивающие угол падения  $\varphi$ , равный 90, 60 и 45°. Использовали две пластины толщиной 8 мм из стали и из полиэтилена.

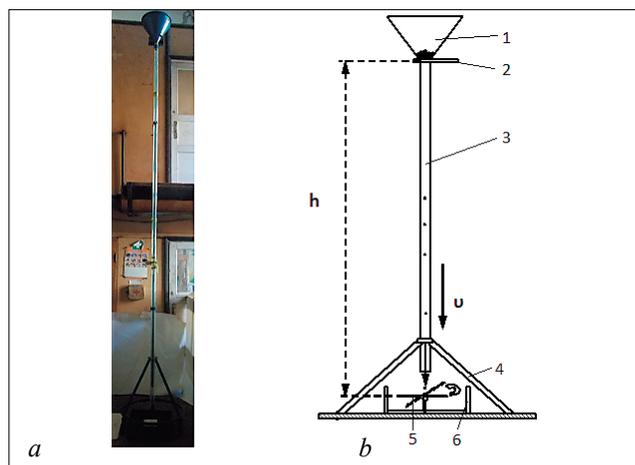


Рис. 1. Экспериментальная установка для изучения травмирования зерна при соударении с поверхностью пластины:

*a* – общий вид; *b* – схема; 1 – воронка; 2 – заслонка; 3 – трубопровод; 4 – стойка; 5 – пластина; 6 – сборная емкость

Fig. 1. An experimental unit for studying grain damage in collisions with a plate surface: *a* – general view; *b* – scheme; 1 – funnel; 2 – shutter; 3 – pipeline; 4 – stand; 5 – plate; 6 – receiver tank

В начале каждой серии опытов 100 целых зерен засыпали в воронку. После открытия заслонки они падали разреженным потоком по трубопроводу на пластину.

В каждой серии опытов зерна сбрасывали на пластины из стали или пластика, закрепленные под определенным углом. Максимальное количество соударений зерна с поверхностью пластины не превышало  $n = 10$  раз. Провели 6 серий опытов. Зерна падали под углом 90, 60 и 45°: в первых трех сериях на поверхность стальной пластины, в следующих трех – пластиковой.

В ходе выполнения серии опытов после количества соударений зерна с пластиной, равного  $n = 1, 2, 4, 6, 8, 10$  раз, зерна вынимали из сборной емкости и подвергали визуальному осмотру для определения характера травмирования по методике Пехальского И.А. [15]. Под травмированием зерна понимали повреждение эндосперма (вмятины, выбоины или трещины) и зародыша (вмятины, выбоины или его полная потеря) [16].

В качестве показателя травмирования зерна использовали долю  $W_n$  травмированных зерен в партии после  $n$ -го соударения:

$$W_n = \frac{N_t}{N} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где  $N_t$  – количество травмированных зерен в партии, шт.;

$N$  – общее количество зерен в партии,  $N = 100$  шт.

Для уточнения влияния материала пластины на степень травмирования зерна вычисляли разность доли травмированных зерен при падении на стальную и пластиковую пластины при определенных угле и количестве соударений  $\Delta W_n$ :

$$\Delta W_n = W_{ns} - W_{np}, \quad (2)$$

где  $W_{ns}$  – доля травмированных зерен в партии для случая соударения со стальной пластиной, %;

$W_{np}$  – доля травмированных зерен в партии для случая соударения с пластиковой пластиной, %.

**РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ.** При столкновении зерен пшеницы с гладкой поверхностью пластины из стали или пластика часть из них повреждается, причем доля травмированных зерен возрастает с увеличением количества соударений и угла падения.

Зависимость доли травмированных зерен от количества их соударений с поверхностью пластины практически линейная (рис. 2).

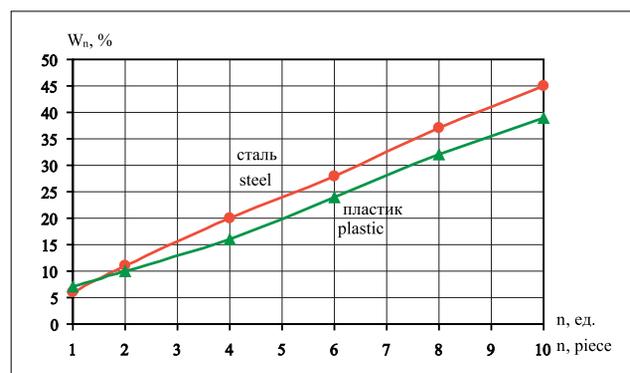


Рис. 2. Зависимость травмирования зерна от количества ударов и материала пластины при угле падения 60°

Fig. 2. Dependence of grain damage on the strokes number and plate material at an incidence angle of 60°

Чтобы оценить различие в степени повреждения зерен при их столкновении с пластинами из стали и пластика, рассмотрим зависимость разности доли зерен, травмированных стальной и пластиковой пластинами  $\Delta W_n$ , вычисляемой по формуле (2), от угла падения и количества соударений зерна пшеницы с поверхностью пластины (рис. 3).

Достаточно заметное снижение степени травмирования зерна (8-10% в абсолютном выражении) при столкновении с пластиковой пластиной по сравнению со стальной наблюдается лишь при углах падения, близких к 90°, и при количестве соударений от 5 до 10. С уменьшением угла падения разница в доле травмированных зерен снижается, достигая минимума при угле 45°.

Разность доли травмированных зерен между стальной и пластиковой пластинами зависит от количества испытываемых зерном ударов о поверхность. При малом количестве ударов (от 1 до 2) эта разность незначительна и не превышает 1 п.п. (процентного пункта) при всех значениях угла падения. При небольшом количестве соударений (от 2 до 4) этот показатель линейно возрастает с минус 1 до 2,5-4 п.п. Аналогичная зависимость сохраняется и в интервале соударений от 4 до 10. Но рост разности доли травмированных зерен с увеличением количества ударов наблюдает-

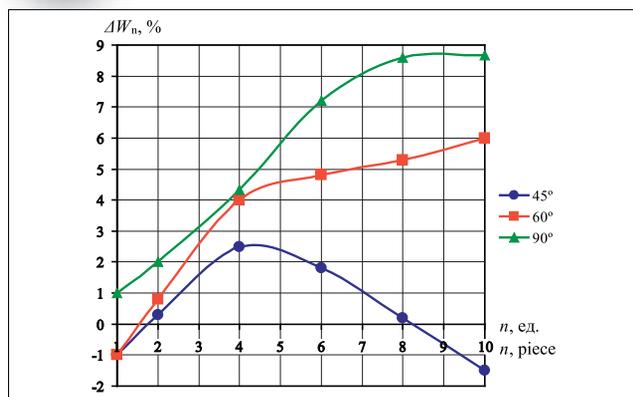


Рис. 3. Зависимость разности доли травмированных зерен между стальной и пластиковой пластинами при определенном угле падения от количества ударов

Fig. 3. The dependence of the difference in the proportion of damaged grains between steel and plastic plates at a certain incidence angle on the strokes number

ся лишь при углах падения более 60°. Причем в диапазоне 8-10 ударов при соударении под углом от 60 до 90° этот показатель ниже 1 п.п.

При значениях угла падения менее 60° разность доли зерен, травмированных стальной и пластиковой пластинами, уменьшается с увеличением количества ударов от 4 до 10, достигая нуля при угле падения 45° при 8 ударах.

Эксперименты показали, что при замене стальной пластины на пластиковую травмирование зерна пшеницы снижается на значимую величину (5-9 п.п.) лишь при большом угле падения – от 60 до 90° – и при 5 и более ударах. При угле падения 60-90° и 1-4 ударах снижение доли травмирования зерна незначительно – до 4 п.п.

При углах падения менее 60° снижение доли травмирования зерен при использовании пластиковой пластины также не превышает 4 п.п., В этом случае при малом количестве ударов от 1 до 4 это значение не более 3,5%.

При угле падения 45° и количестве ударов 1-2 и 8-10 применение пластиковой пластины достоверно не снижает доли травмированных зерен по сравнению со стальной.

Полученные авторами результаты, согласно которым максимальное снижение доли травмирования зерна при замене стальных рабочих органов подъемно-транспортных машин пластиковыми составило 9% в абсолютном выражении, вступают в противоречие с публикациями, информирующими о многократном снижении травмирования зерна [10-12, 15, 16]. Объяснить это можно тем, что в указанных работах исследовали травмирование зерна на высокой скорости (более 10 м/с) при столкновении с поверхностью чаще всего под углом 90°. В этом случае замена действительно повышает эффективность применения пластика, а столкновение под острым углом не изу-

чалось. В частности, при столкновении зерна пшеницы с пластиной под углом 90° на скорости 10-30 м/с зафиксировали снижение доли травмирования для пластиковой пластины в 4-5 раз по сравнению со стальной. По предположению В.П. Забродина с соавторами, такая эффективность пластиковой пластины объясняется «уменьшением потенциальной энергии деформации зерна» и тем, что «при ударе зерна о поверхность с полимерным покрытием доля накопленной зерном потенциальной энергии многократно снижается» вследствие того, что модуль Юнга у пластины из пластика в 1000 раз меньше, чем у стальной.

В тех же немногих исследованиях, где изучали травмирование зерна при низкоскоростном ударе, получили результаты, сходные с представленными в данной статье [2, 4]. По данным В.Б. Фейденгольда, при замене стальной преграды на пластиковую снижение доли травмирования зерна не превысило 2,5% при скорости в момент соударения 6 м/с и не более 20 ударов.

Эти расхождения можно объяснить тем, что эффект уменьшения потенциальной энергии деформации зерна при ударе о пластиковую поверхность слабо выражен при низкой скорости их соударения.

Возможно, при высокой скорости увеличивается вероятность травмирования именно зародыша зерна при ударе зерновки о твердую поверхность. Проведенные эксперименты показали, что 90% травм зерна составляли именно повреждения зародыша.

Для точного определения причин разной степени травмирования зерна при ударе о стальную и пластиковую пластины при низко- и высокоскоростном соударении с поверхностью рабочих органов подъемно-транспортных машин требуется проведение дополнительных исследований, в том числе необходимо дать экспериментальную оценку травмирования зерна при его движении в потоке.

**Выводы.** Эффективность замены стальной пластины на пластиковую в рабочих органах подъемно-транспортных машин характеризуется разностью доли травмированных зерен. Она повышается с увеличением угла падения зерна и количества испытываемых им ударов, достигая максимума 9% в абсолютном выражении при угле падения 90° при 10 ударах, и снижается при уменьшении угла падения и количества соударений, достигая минимума при угле 45°. В последнем случае замена стальной пластины на пластиковую нецелесообразна.

Установили, что в большинстве случаев доля травмированных зерен не превышает 5%.

На основании результатов проведенного этапа исследований можно предположить, что в условиях движения зерен с малой скоростью менее 3,5 м/с в разреженном потоке без взаимодействия между ними, когда происходит соударение отдельных зерен с рабочими органами подъемно-транспортных машин, заме-

на стальных рабочих органах на пластиковые будет малоэффективна. Учитывая, что на практике движение зерна при работе подъемно-транспортных машин происходит в потоке различной степени разреженности, целесообразно провести дополнительные экспериментальные исследования в этом направлении.

Результаты экспериментов будут использованы в дальнейших исследованиях по разработке методов снижения травмирования зерна в процессе послеуборочной и предпосевной обработки.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пехальский И.А., Кряжков В.М., Артюшин А.А., Сорочинский В.Ф. Травмирование внутренних структур зерновок как фактор снижения продуктивности семян зерновых культур // *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. 2016. N117. С. 783-792.
2. Михайлов Е.В., Кольцов М.П. Травмирование семян зерновых культур в процессе послеуборочной обработки и пути его снижения // *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2013. Т. 13. N3. С. 139-145.
3. Lashgari M., Mobli H., Omid M., Alimardani R., Mohtasebi S.S. Qualitative analysis of wheat grain damage during harvesting with John Deere combine harvester. *International Journal of Agriculture and Biology*. 2008. Vol. 10. N2. 201-204.
4. Фейденгольд В.Б., Белецкий С.Л. Причины травмирования зерна и меры по их устранению // *Инновационные технологии производства и хранения материальных ценностей для государственных нужд*. 2016. N6. С. 204-217.
5. Шатохин И.В., Пименов В.Б. Дробление зерна различных культур нориями // *Аспирант*. 2015. N2(7). С. 35-37.
6. Шатохин И.В., Пименов В.Б., Алфеев Д.А., Парфенов А.Г. Снижение травмирования зерна и семян транспортирующими рабочими органами // *Хранение и переработка зерна*. 2015. N1(190). С. 36-38.
7. Ахматов А.А., Оробинский В.И., Солнцев В.Н. Травмирование зерна шнековым питающим устройством // *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2015. N4(47). С. 98-101.
8. Zareiforoush H., Komarizadeh M.H., Alizadeh M.R. Effect of crop-screw parameters on rough rice grain damage in handling with a horizontal screw conveyor. *Journal of Food, Agriculture & Environment*. 2010. Vol. 8. N3/4. 494-499.
9. Zareiforoush H., Komarizadeh M.H., Alizadeh M.R. Effects

of crop-machine variables on paddy grain damage during handling with an inclined screw auger. *Biosystems engineering*. 2010. Vol.106. N3. 234-242.

10. Варывдин В.В., Романеев Н.А. Снижение уровня травмирования зерна при его доработке // *Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения*. 2013. N1(12). С. 5-9.

11. Суханова М.В., Забродин В.П. Сравнительный анализ воздействия поверхности различной жесткости рабочих органов сельскохозяйственной техники на твердую частицу сыпучего тела // *Вестник аграрной науки Дона*. 2017. Т.2. N38. С. 19-22.

12. Забродин В.П., Бутенко А.Ф., Суханова М.В., Чепцов С.М. Исследование ударного воздействия механического устройства на семена озимой пшеницы // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т. 12. N2. С. 14-18.

13. Shahbazi F. A Study on the Seed Susceptibility of Wheat (*Triticum aestivum* L.) Cultivars to Impact Damage. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 2012. Vol.14. N3. 505-512.

14. Shahbazi F., Valizadeh S., Dowlatshah A. Mechanical damage to wheat and triticale seeds related to moisture content and impact energy. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*. 2012. Vol. 14. N4. 150-155.

15. Пехальский И.А., Артюшин А.А., Елизаров В.П., Славкин В.И., Сорочинский В.Ф. Методика определения комплексного травмирования зерна и семян машинами // *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. 2016. N120. С. 399-411.

16. Пехальский И.А. Универсальная классификация травматических повреждений внутренних структур семян сельскохозяйственных культур // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2015. Т. 9. N6. С. 9-13.

### REFERENCES

1. Pekhal'skiy I.A., Kryazhkov V.M., Artyushin A.A., Sorochinskiy V.F. Travmirovaniye vnutrennikh struktur zernovok kak faktor snizheniya produktivnosti semyan zernovykh kul'tur [Damage of the grains internal structures as a factor in reducing the grain crops seeds productivity]. *Politematicheskii setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2016. N117. 783-792 (In Russian).
2. Mikhaylov E.V., Kol'tsov M.P. Travmirovaniye semyan zernovykh kul'tur v protsesse posleuborochnoy obrabotki i puti ego snizheniya [Damage of grain crops seeds in the process of postharvest processing and ways to reduce it]. *Pratsi Tavriys'kogo derzhavnogo agrotekhnologichnogo universitetu*. 2013. Т. 13.

N3. 139-145 (In Russian).

3. Lashgari M., Mobli H., Omid M., Alimardani R., Mohtasebi S.S. Qualitative analysis of wheat grain damage during harvesting with John Deere combine harvester. *International Journal of Agriculture and Biology*. 2008. Vol. 10. N2. 201-204 (In English).

4. Feydengol'd V.B., Beletskiy S.L. Prichiny travmirovaniya zerna i mery po ikh ustraneniyyu [The reasons of grain damage and measures to eliminate them]. *Innovatsionnye tekhnologii proizvodstva i khraneniya material'nykh tsennostey dlya gosudarstvennykh nuzhd*. 2016. N6. 204-217 (In Russian).

5. Shatokhin I.V., Pimenov V.B. Drobleniye zerna razlichnykh

- kul'tur noriyami [Crushing of various cultures grain by norii]. *Aspirant*. 2015. N2(7). 35-37 (In Russian).
6. Shatokhin I.V., Pimenov V.B., Alfeev D.A., Parfenov A.G. Snizhenie travmirovaniya zerna i semyan transportiruyushchimi rabochimi organami [Damage reducing to grain and seeds by transporting working parts]. *Khranenie i pererabotka zerna*. 2015. N1(190). 36-38 (In Russian).
7. Akhmatov A.A., Orobinskiy V.I., Solntsev V.N. Travmirovaniye zerna shnekovym pitayushchim ustroystvom [Grain damage by a screw feeding device]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2015. N4(47). 98-101 (In Russian).
8. Zareiforouh H., Komarizadeh M.H., Alizadeh M.R. Effect of crop-screw parameters on rough rice grain damage in handling with a horizontal screw conveyor. *Journal of Food, Agriculture & Environment*. 2010. Vol.8. N3/4. 494-499 (In English).
9. Zareiforouh H., Komarizadeh M.H., Alizadeh M.R. Effects of crop-machine variables on paddy grain damage during handling with an inclined screw auger. *Biosystems engineering*. 2010. Vol.106. N3. 234-242 (In English).
10. Varyvdin V.V., Romaneev N.A. Snizhenie urovnya travmirovaniya zerna pri ego dorabotke [Reducing the grain damage level during its refinement]. *Konstruirovaniye, ispol'zovaniye i nadezhnost' mashin sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya*. 2013. N1(12). 5-9 (In Russian).
11. Sukhanova M.V., Zabrodin V.P. Sravnitel'nyy analiz vozdeystviya poverkhnosti razlichnoy zhestkosti rabochikh organov sel'skokhozyaystvennoy tekhniki na tverduyu chastitsu syuchego tela [A comparative analysis of the effects of varying hardness surfaces of the agricultural machinery working parts on a solid particle of a loose part]. *Vestnik agrarnoy nauki Dona*. 2017. T.2. N38. 19-22 (In Russian).
12. Zabrodin V.P., Butenko A.F., Sukhanova M.V., Cheptsov S.M. Issledovanie udarnogo vozdeystviya mekhanicheskogo ustroystva na semena ozimoy pshenitsy [Investigation of the mechanical device impact on winter wheat seeds]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2018. T. 12. N2. 14-18 (In Russian).
13. Shahbazi F. A Study on the Seed Susceptibility of Wheat (*Triticum aestivum* L.) Cultivars to Impact Damage. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 2012. Vol.14. N3. 505-512 (In English).
14. Shahbazi F., Valizadeh S., Dowlatshah A. Mechanical damage to wheat and triticale seeds related to moisture content and impact energy. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*. 2012. Vol. 14. N4. 150-155 (In English).
15. Pekhal'skiy I.A., Artyushin A.A., Elizarov V.P., Slavkin V.I., Sorochinskiy V.F. Metodika opredeleniya kompleksnogo travmirovaniya zerna i semyan mashinami [Methodology for determining the complex grain and seeds damage by machines]. *Politematicheskij setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2016. N120. 399-411 (In Russian).
16. Pekhal'skiy I.A. Universal'naya klassifikatsiya travmaticheskikh povrezhdeniy vnutrennikh struktur semyan sel'skokhozyaystvennykh kul'tur [Traumatic damage universal classification of the agricultural crops seeds internal structures]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2015. T. 9. N6. 9-13 (In Russian).

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 21.03.2019  
The paper was submitted  
to the Editorial Office on 21.03.2019

Статья принята к публикации 27.05.2020  
The paper was accepted  
for publication on 27.05.2020