

Научная статья

УДК 631.363

EDN XPSGCC

<https://doi.org/10.22450/978-5-9642-0633-0-51-57>

**Исследование процесса взаимодействия
частиц зерна с лопастью метателя зерна**

Сэлмэг Жаргаловна Гылыкова¹, преподаватель

Сэнгэ Самбуевич Ямпиров², доктор технических наук, профессор

Жаргал Борисович Цыбенков³, кандидат технических наук, доцент

^{1, 2, 3} Восточно-Сибирский государственный университет технологий
и управления, Республика Бурятия, Улан-Удэ, Россия

¹ gylykova95@bk.ru, ² yampilovss@mail.ru

Аннотация. Одним из главных недостатков зернометательных машин является дробление и повреждение частиц зерна. Анализ показал, что установка на лопастях резиновых покрытий уменьшает коэффициент, влияющий на мгновенную силу удара, больше, чем при установке на лопастях полимерных покрытий. Как показали эксперименты, дробление частиц зерна при установке на лопастях резиновых покрытий становится в 2–2,8 раза меньше.

Ключевые слова: зерновка, лопасть метателя зерна, сила удара, упругая деформация

Для цитирования: Гылыкова С. Ж., Ямпиров С. С., Цыбенков Ж. Б. Исследование процесса взаимодействия частиц зерна с лопастью метателя зерна // Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития : материалы междунар. науч.-практ. конф. (Благовещенск, 18–19 апреля 2024 г.). Благовещенск : Дальневосточный ГАУ, 2024. С. 51–57.

Original article

**Investigation of the process of interaction
of grain particles with the blade of a grain thrower**

Selmeg Zh. Gylykova¹, Lecturer

Senge S. Yampilov², Doctor of Technical Sciences, Professor

Zhargal B. Tsybenov³, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

^{1, 2, 3} East Siberian State University of Technology and Management
Republic of Buryatia, Ulan-Ude, Russia

¹ gylykova95@bk.ru, ² yampilovss@mail.ru

Abstract. One of the main disadvantages of grain-throwing machines is crushing and damage to grain particles. The analysis showed that the installation of rubber coatings on the blades reduces the coefficient affecting the instantaneous impact force more than when installing polymer coatings on the blades. Experiments have shown that the crushing of grain particles when rubber coatings are installed on the blades becomes 2–2.8 times less.

Keywords: grain, grain thrower blade, impact force, elastic deformation

For citation: Gylykova S. Zh., Yampilov S. S., Tsybenov Zh. B. Investigation of the process of interaction of grain particles with the blade of a grain thrower. Proceedings from Agro-industrial complex: problems and prospects of development: *Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya (Blagoveshchensk, 18–19 aprelya 2024 g.)* (PP. 51–57), Blagoveshchensk, Dal'nevostochnyj gosudarstvennyj agrarnyj universitet, 2024 (in Russ.).

Зернометательные машины применяются в сельском хозяйстве для очистки зерна, охлаждения и снятия влажности зерна, то есть в качестве универсальных машин. Однако из-за их главного недостатка, состоящего в повреждении частиц зерна, их применение ограничено [1, 2]. Как показывает анализ исследований, повреждение частиц зерна зависит от силы удара лопасти о зерновку [3, 4].

Цель работы – разработать сепарирующий метатель зерна, который позволяет снизить повреждение частиц зернового материала.

Анализ процесса работы разработанного рабочего органа показывает, что в сравнении с другими зернометательными машинами, удар со стороны лопасти сепарирующего зернометателя о частицу зерна значительно уменьшается при установки на лопастях резиновых покрытий. При контакте частицы зерна с лопастью степень взаимодействия характеризуется мгновенной силой удара.

Многочисленные исследования позволяют определить мгновенную силу удара лопасти зернометательной машины о частицу зерна.

При ударе лопасти зернометательной машины о частицу зерна она не разрушается, а претерпевает некоторые структурные изменения в пределах упругой деформации. Чем больше сила удара лопасти о частицу зерна, тем больше частица зерна повреждается. Исходя из этого, мгновенную силу при ударе

можно рассчитать по гипотезе, предложенной Герцем, который рассматривает процесс удара тел в пределах упругой деформации. При рассмотрении данной теории получено решение контактной задачи для нескольких случаев удара лопасти о частицу зерна [4]. Для случая удара лопасти о частицу зерна в одной точке мгновенная сила в момент удара будет равна:

$$P = k \cdot \alpha^{\frac{3}{2}}, \quad (1)$$

$$\text{при этом } k = \frac{2}{3} \cdot \frac{E_1 E_2}{E_1(1 - \mu_2^2) + E_2(1 - \mu_1^2)} \sqrt{\frac{1}{2} \frac{1}{\sum r}} \quad (2)$$

где α – упругая деформация частицы зерна в точке контакта;

k – коэффициент, зависящий от кривизны поверхностей частицы зерна в точке контакта и от свойств материала лопасти;

E_1, E_2 – модули Юнга частицы зерна и материала лопасти;

μ_1, μ_2 – коэффициенты Пуассона частицы зерна и материала лопасти;

$\sum r$ – сумма главных кривизны в точке контакта частицы зерна о лопасть.

При определении кривизны частицы зерна [3] принимаем допущение, что форма частицы зерна представляет эллипсоид вращения с полуосями a и c и шириной b . При контакте лопасти о частицу зерна поверхность лопасти не деформируется, а приведенная кривизна частицы зерна выразится через радиусы кривизны по формулам (3):

$$r_{11} = \frac{b}{2} = c; r_{12} = \frac{a^2}{c} \quad (3)$$

Тогда с учетом формул (2) и (3), выражение (2) принимает вид:

$$k = \frac{2}{3} \cdot \frac{E_1}{(1 - \mu^2)} \cdot \left(\frac{E_2}{E_1 + E_2} \right) \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{ca^2}{a^2 + c^2} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

Анализ выражения (4) применительно к нашим условиям показывает, что при установке на лопастях резиновых покрытий модуль Юнга для резины составляет: $E_{\text{рез}} = E_2 = 2\text{--}18$ МПа, тогда как модуль Юнга для зерна будет равен: $E_{\text{зер}} = E_1 = 10\text{--}40$ МПа.

Поэтому выражение в скобках $\left(E_2/E_1 + E_2\right)$ составит 0,265. Также известно, что коэффициент Пуассона для резины, составляет $\mu_2=0,5$. При этом коэффициент k , зависящий от кривизны поверхностей тел в точке контакта и от свойств материала, составит 5,95.

Применительно к стальным лопастям, модуль Юнга для стали оказывается равным $E_{\text{стали}} = E_2 = 2 \cdot 10^5$ МПа. Известно, что коэффициент Пуассона для стали равен 0,25–0,33. Принимая $\mu_2 = 0,3$, рассчитав k для стальных лопастей при контакте зерновки с лопастью при ударе среднего зерна, получим значение 18,48. Таким образом имеем, что коэффициент k при установке на лопастях резиновых покрытий в 4,7 раз меньше, чем при ударе зерновки о стальную лопасть.

Аналогично рассчитали коэффициент k при покрытии лопасти капролоном. При этом $E_{\text{капролон}} = E_2 = 100$ МПа. Коэффициент Пуассона для капролона составляет $\mu_2 = 0,43$. Коэффициент k при установке на лопастях полимерных покрытий (капролона) на 11 % меньше, чем при ударе зерновки о стальную лопасть.

Таким образом, выбираем резиновые покрытия на лопастях зернометателя при котором коэффициент k намного меньше чем, при покрытии лопасти полимерными покрытиями.

Рассчитаем коэффициент k при установке на лопастях резиновых покрытий для крупного, среднего и мелкого зерна (пшеницы) (рис. 1). Анализ данных графика показал, что коэффициент k изменяется от 1 до 8 в зависимости от модуля Юнга от 2 до 18. Среднее значение коэффициента k при установке резиновых покрытий составляет 3,91 для среднего зерна при $E = 10$ МПа.

Таким образом, мгновенная сила в момент удара зерновки о лопасти зернометателя с резиновыми покрытиями будет намного меньше; при этом коэффициент k при установке на лопастях резиновых покрытий уменьшится более

чем в 2 раза по сравнению со стальными лопастями.

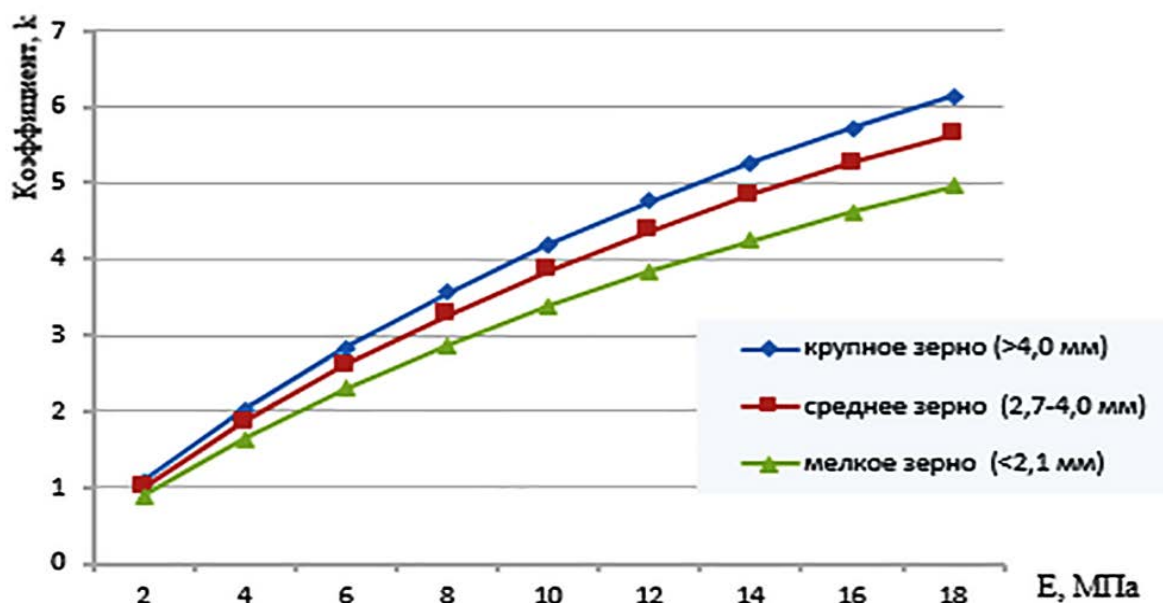


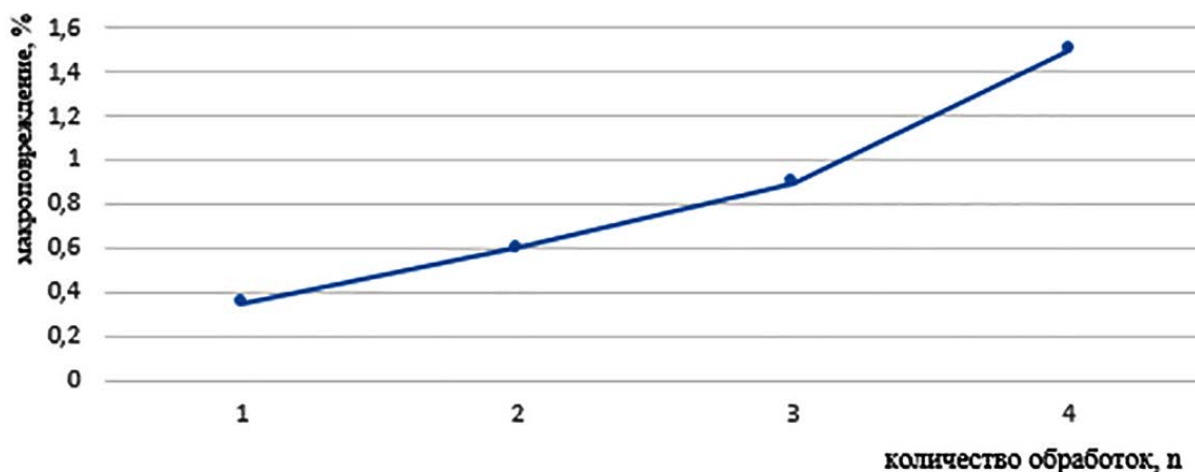
Рисунок 1 – Зависимость коэффициента k от модуля Юнга резины для фракций единичных зерен

Были проведены эксперименты по определению дробления частиц зерна зернометателем с резиновыми покрытиями лопастей. При этом использованы следующие параметры зернометателя: частота вращения лопастного барабана составляла 360 об./мин., угол наклона выпускного патрубка 45 градусов.

Для определения количества дробленного зерна выделяли четыре навески массой 50 г на каждом метре удаления от метателя зерна. Зерна, имеющие дробление, отделяли от основного материала и взвешивали на весах с точностью до 0,01 г. После определения массы дробленного зерна вычисляли его содержание в процентном отношении к общей массе навески.

Повреждение исходного зернового вороха увеличивается с количеством пропусков через машину. Также можно сделать заключение, что зависимость степени повреждения от количества операций не является линейной. Объяснить это можно накоплением микроповреждений в структуре зерновки и снижением предельных напряжений, выдерживаемых этой частицей зерна, что

подтверждается данными литературного анализа [1–4]. Зависимость повреждения частиц зерна от количества пропусков представлена на рисунке 4.



**Рисунок 2 – Зависимость макроповреждений частиц зерна
от количества операций обработки**

Анализ зависимости макроповреждений частиц зерна в зависимости от количества операций (обработки) позволяет сделать вывод, что с ростом количества обработки степень повреждения нелинейна. Макроповреждение частиц зерна при установке на лопасти резиновых покрытий уменьшается в 2–2,8 раза в сравнении с зернометателями ЗПС-60 и ЗС-90 [3].

Закключение. Для уменьшения ударного взаимодействия частиц зерна с лопастью использованы резиновые покрытия, которые позволяют уменьшить коэффициент k более чем в 2 раза по сравнению со стальными лопастями.

Список источников

1. Шуханов С. Н. Совершенствование рабочего процесса зернометателей и зернопогрузчиков : дис. ... докт. техн. наук. Улан-Удэ, 2012. 285 с.
2. Абидуев А. А. Повышение эффективности фракционного разделения и очистки зерна на порционном метателе : дис. ... канд. техн. наук. Улан-Удэ, 2004. 166 с.
3. Асатурян А. В. Обоснование технологического процесса работы и параметров усовершенствованного ленточного метателя зерна : автореф. ... дисс. канд. техн. наук. Зерноград, 2016. 21 с.
4. Шабанов Н. И., Бутенко А. Ф. Теоретические исследования процесса

взаимодействия зерновки с лопаткой ротора // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2004. № 3. С. 108–111.

References

1. Shukhanov S. N. Improving the work process of grain throwers and grain loaders. *Doctor's thesis*. Ulan-Ude, 2012, 285 p. (in Russ.).
2. Abiduev A. A. Increasing the efficiency of fractional separation and purification of grain on a portion thrower. *Candidate's thesis*. Ulan-Ude, 2004, 166 p. (in Russ.).
3. Asaturyan A. V. Justification of the technological process of operation and parameters of an improved belt grain thrower. *Extended abstract of candidate's thesis*. Zernograd, 2016, 21 p. (in Russ.).
4. Shabanov N. I., Butenko A. F. Theoretical studies of the process of interaction of the grain with the rotor blade. *Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskii region. Tekhnicheskie nauki*, 2004;3:108–111 (in Russ.).

© Гылыкова С. Ж., Ямпилов С. С., Цыбенков Ж. Б., 2024

Статья поступила в редакцию 19.03.2024; одобрена после рецензирования 07.05.2024; принята к публикации 07.06.2024.

The article was submitted 19.03.2024; approved after reviewing 07.05.2024; accepted for publication 07.06.2024.