

**К ВОПРОСУ ШЕЛУШЕНИЯ ЗЕРНА В ПНЕВМОМЕХАНИЧЕСКОМ ШЕЛУШИТЕЛЕ**

**Лотфуллин Р.Ш., Ибяттов Р.И., Дмитриев А.В., Зиганшин Б.Г.**

**Реферат.** В статье показаны теоретические исследования ударного взаимодействия зерна, разгоняемого ротором пневмомеханического шелушителя, с декой. Теоретически определены силы разрушения структурных элементов зерна при возможных направлениях и условиях удара зерна о деку: при неподвижной деке, при условии её вращения в сторону вращения ротора, при условии её вращения в сторону противоположную вращению ротора. Найдена работа и затрачиваемая кинетическая энергия, необходимая для такого разрушения, дано понятие коэффициента восстановления зерна как отношение его кинетических энергий до удара о деку и после. Для различных вариантов удара зерна о деку определён КПД работы всей системы. Доказано, что наиболее эффективное шелушение зерна будет происходить в случае вращения деки в противоположную сторону вращения ротора. В этом случае зерно вначале перемещается в воздушном потоке создаваемым ротором, а подойдя ближе к поверхности деки переходит в воздушный поток, создаваемый ею и меняет свое направление движения на обратное. Таким потоком легко управлять, изменяя частоту вращения деки, что дает возможность получить прямо (перпендикулярный) удар зерна об неё. Проведенные исследования более полно раскрывают картину взаимодействия зерна с декой в рабочей зоне пневмомеханического шелушителя.

**Ключевые слова:** шелушитель, дека, удар, сила разрушения, энергия разрушения, скорость удара.

**Введение.** Качество переработки зерна в крупу в большей степени зависит от эффективности отделения наружных оболочек зерна от ядра, выполняемых шелушительными машинами. Для шелушительных машин пневмомеханического типа, разрабатываемых в Казанском ГАУ, важное значение для качественного шелушения имеет направление скорости удара зерна о поверхность деки и дальнейшее взаимодействие зерна с этой поверхностью [8, 9, 10, 11].

Целью данной работы является проведение теоретических исследований, более полно раскрывающих взаимодействие зерна с рабочими органами пневмомеханического шелушителя.

**Анализ и обсуждение результатов.** Известно, что кинетическая энергия зерна состоит из кинетической энергии поступательного движения и кинетической энергии вращательного движения зерна и выражается формулой [3]:

$$E_{кин} = 0,7m\vartheta_3^2, \quad (1)$$

где  $\vartheta_3 = \omega r_3$  – линейная скорость поступательного движения зерна,  $r_3$  – радиус зерна,  $\omega$  – угловая скорость вращательного движения зерна.

Зерно во время отрыва от поверхности ротора вращается против направления вращения ротора, при этом часть зерна будет иметь скорость, равную линейной скорости  $\vartheta$ , а противоположная часть будет иметь скорость  $-\vartheta$ . Так как эта часть будет вращаться против направления потока воздуха, то зерно будет иметь равнозамедленное вращательное движение с угловым ускорением [3]:

$$\varepsilon = -\frac{15}{4} \cdot \frac{\eta \vartheta}{\rho r_3^3}, \quad (2)$$

где  $\eta$  – коэффициент вязкости воздуха,  $\vartheta_0$  – скорость воздушного потока,  $\rho$  – плотность зерна.

Расчеты показывают, что угловое ускорение зерна незначительно влияет на угловую скорость зерна и, следовательно, можно изменением угловой скорости зерна пренебречь.

Для качественного шелушения сила удара зерна  $F$  о деку пневмомеханического шелушителя должна быть меньше силы удара разрушения зерна ядрицы  $F_p^a$  и больше силы разрушения оболочки зерна  $F_p^o$ . Требуемое значение силы удара можно регулировать скоростью движения зерна и углом удара (падения) зерна о деку пневмомеханического шелушителя. Этого можно добиться как регулированием угловой скорости вращения ротора, так и дополнительным вращением деки [3].

При падении зерна на поверхность деки под углом  $\alpha$ , нормальная составляющая скорости зерна будет равна  $\vartheta_3 \cos \alpha$ , а тангенциальная составляющая –  $\vartheta_3 \sin \alpha$ . Нормальная составляющая силы воздействия зерна на поверхность деки  $F_n$  будет равна:

$$F_n = \frac{m \vartheta_n}{\Delta t} = \frac{m \vartheta_3 \cos \alpha}{\Delta t}, \quad (3)$$

где  $\Delta t$  – время деформации зерна на поверхности деки.

Значение силы разрушения оболочки  $F_p^o$  можно вычислить по формуле [6]:

$$F_p^o = \frac{3\pi c E \delta^{5/2}}{r_3} \sqrt{\Delta h_1}, \quad (4)$$

где  $\Delta h_1$  – величина деформации оболочки

при разрушении оболочки,  $r_3$  – радиус оболочки зерна,  $\delta$  – толщина оболочки зерна,  $E$  – модуль Юнга оболочки ( $E = 6,11 \cdot 10^9$  Н/м<sup>2</sup> [6]). Для зерна гречихи  $c = 0,18$ ;  $\delta = 0,134$  мм;  $r_3 = 3$  мм;  $\Delta h_1 = 0,7$  мм; [6]. Тогда  $F_p^o$  получится равной 19Н, что сравнимо с силой разрушения оболочки из экспериментальных данных [6].

Нормальная составляющая силы должна быть больше деформации разрушения оболочки и не должна разрушать ядро зерна, поэтому для энергии нормальной составляющей зерна должно выполняться условие:

$$A_p^o < 0,5m\vartheta_n^2 < A_p^o + A_p^a \quad (5)$$

Работу, необходимую для разрушения оболочки зерна, можно вычислить по формуле:

$$A_p^o = \frac{F_p^o \Delta h_1}{2} \quad (6)$$

а для разрушения ядра:

$$A_p^a = \frac{F_p^a \Delta h_2}{2} \quad (7)$$

Из литературы [6] известно, что, например,  $F_p^o$  для гречихи – 23Н,  $F_p^a$  для гречихи – 23Н,  $\Delta h_1 = 0,7$ мм,  $\Delta h_2 = 0,225$ мм. Тогда  $A_p^o = 8,05 \cdot 10^{-3}$ Дж и  $A_p^a = 2,6 \cdot 10^{-3}$ Дж.

Учитывая, что

$$\vartheta_n = \vartheta_3 \cos \alpha \quad (8)$$

и применяя соотношение (5), можно определить, что

$$\sqrt{\frac{A_p^o}{0,5m\vartheta_3^2}} < \cos \alpha \leq \sqrt{\frac{A_p^o + A_p^a}{0,5m\vartheta_3^2}} \quad (9)$$

Тогда угол  $\alpha$  должен удовлетворять условию:

$$\arccos \sqrt{\frac{A_p^o}{0,5m\vartheta_3^2}} \geq \cos \alpha > \arccos \sqrt{\frac{A_p^o + A_p^a}{0,5m\vartheta_3^2}} \quad (10)$$

При известных значениях, входящих в формулу (10) величин, имеем  $78,9^\circ \geq \alpha > 77,21^\circ$ , т.е. для обеспечения качественного шелушения угол удара зерна о поверхность деки должен быть резко ограничен.

Если нормальная составляющая энергии будет больше разрушения оболочки, то остаточная энергия после разрушения оболочки за счет упругой деформации деки и зерна приведет к движению ядрицы зерна перпендикулярно к поверхности деки со скоростью  $U_n$ , которую можно определить:

$$\frac{mU_n^2}{2} = \frac{m\vartheta_n^2}{2} - A_p^o \quad (11)$$

Отношение модуля вертикальной составляющей скорости тела в конце удара к модулю

вертикальной составляющей скорости до удара является коэффициентом восстановления при ударе [7]:

$$\frac{U_n}{\vartheta_n} = K \quad (12)$$

Используя (11), найдем:

$$K = \sqrt{1 - \frac{2A_p^o}{m\vartheta_n^2}} \quad (13)$$

Из уравнений (8) и (10) найдем скорости:

$$\vartheta_{n1} = \vartheta_3 \cdot \cos \alpha_1 = 56,52 \cdot \cos 78,9^\circ = 10,88 \text{ м/с,}$$

$$\vartheta_{n2} = \vartheta_3 \cdot \cos \alpha_2 = 56,52 \cdot \cos 77,21^\circ = 12,51 \text{ м/с.}$$

Используя (13) для  $\vartheta_{n2}$  при различных скоростях  $10,88 < \vartheta_{n2} < 12,51$  можно найти значение  $K$ :

$$0 < K \leq 0,49.$$

Коэффициент восстановления  $K$  согласно [7] можно представить в виде:

$$K = \frac{|U_n|}{|\vartheta_n|} = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \beta}, \quad (14)$$

где  $\beta$  – угол отражения зерна от поверхности деки.

Найдем  $\operatorname{tg} \beta$ :

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{K} \quad (15)$$

Так как  $K < 1$ , то при столкновении тела с поверхностью  $\operatorname{tg} \beta > \operatorname{tg} \alpha$  и  $\beta > \alpha$ .

Рассмотрим тангенциальную составляющую скорости зерна при взаимодействии зерна с поверхностью деки:

1. Неподвижная дека. Если бы зерно не вращалось, то за счет деформации зерна и за счет наличия трения скольжения возникло бы трение качения зерна на поверхности деки. Но в нашем случае вращающееся зерно падает на поверхности деки и начинает двигаться по поверхности деки за счет трения качения зерна. Поскольку трение качения зерна составляет менее одной тысячной доли трения скольжения, то потерей энергии за счет трения качения зерна можно пренебречь. Общая тангенциальная составляющая энергии равна:

$$E_\tau = 0,2 m \vartheta_3^2 + 0,5 m \vartheta_\tau^2, \quad (16)$$

$$\vartheta_\tau = \vartheta_3 \sin \alpha. \quad (17)$$

Подставляя известные значения в уравнения (13) и (14), получим значение  $E_\tau = 0,2934$  Дж. Нормальная составляющая кинетической энергии в этом случае будет  $E_\tau = 0,5 m \vartheta_3^2 = 0,01064$  Дж, что составляет 3,63 % от тангенциальной составляющей кинетической энергии. Отсюда видно, что для увеличения коэффициента полезного действия (КПД) пневмомеханического шелушителя зерна необходимо регулировать величину скорости зерна и уменьшить угол удара зерна на

поверхность деки.

2. Рассмотрим случай, когда дека вращается в ту же сторону, что и ротор пневмомеханического шелушителя. Если частота вращения ротора шелушителя  $n = 15\text{с}^{-1}$ , его радиус  $R = 0,6\text{ м}$ , а радиус зерна  $r = 3\text{ мм}$ , то угловая скорость вращения зерна будет:

$$\omega_3 = 1,884 \cdot 10^4 \text{ Гц.}$$

При частоте вращения деки  $n_d$  и радиусе деки  $R_d$  линейная скорость поверхности деки будет:

$$G_d = 2\pi n_d R_d. \quad (18)$$

Если линейная скорость вращения зерна будет больше линейной скорости поверхности деки, то зерно будет двигаться по поверхности деки за счет трения качения со скоростью почти равной разности линейных скоростей поверхности зерна и поверхности деки. При этом потеря энергии вращения зерна будет происходить за счет силы трения качения, которая очень мала по сравнению с кинетической энергией зерна. Если же линейная скорость

$G_d$  больше линейной скорости вращения зерна, то из-за взаимодействия поверхности деки и деформированной поверхности зерна возникнет сила трения скольжения, которая будет увеличивать угловую скорость вращения зерна. Однако, в этом случае, когда дека и воздушный поток, создаваемый ротором, вращаются в одну сторону, усиливаются сила Кориолиса, эффект Магнуса и центробежная сила, действующие на зерно в воздушном потоке, что приводит к увеличению угла удара зерна о поверхность деки. В следствии этого уменьшится КПД работы пневмомеханического шелушителя зерна и возможность удара зерна о поверхность деки при некоторых высоких значениях  $n_d$ . Поэтому рассматриваемое во втором случае направление вращения деки неэффективно для шелушения зерна.

3. Рассмотрим случай, когда дека вращается в противоположном направлении вращению лопастей ротора пневмомеханического шелушителя зерна. Зерно, оторвавшись с поверхности лопасти ротора, вначале будет перемещаться в воздушном потоке, создаваемом ротором и вращающемся в направлении вращения ротора, а подойдя к поверхности деки, перейдет в воздушный поток, который она создаёт и изменит свое направление движения на обратное [2]. Таким воздушным потоком достаточно легко управлять, регулируя угол удара зерна о деку для получения наибольшего КПД шелушителя. При почти перпендикулярном ударе зерна о деку горизонтальная составляющая скорости зерна будет мала, зерно будет сильно сжато при ударе, линейная

скорость вращения зерна будет гораздо больше горизонтальной составляющей скорости движения зерна и возникнет сила трения между вращающимися поверхностями зерна и деки. В данном случае работа для преодоления сил трения будет гораздо больше работы сил трения качения и поэтому эту затраченную энергию для преодоления сил трения необходимо учитывать.

При управлении движения зерна скоростью вращения деки можно добиться почти перпендикулярного удара зерна [2], и в этом случае применяя формулы (5) и (10) найдем:

$$G_n \leq \sqrt{\frac{A_p^o + A_p^a}{0,5m}} = \sqrt{\frac{1,065 \cdot 10^{-2}}{0,68 \cdot 10^{-4}}} = 12,5 \text{ м/с.}$$

При скорости  $G_n = 12,5\text{ м/с}$  и  $r_3 = 3 \cdot 10^{-3}\text{ м}$ , угловая скорость вращения зерна равна:

$$\omega_3 = \frac{G_3}{r_3} = 4,17 \cdot 10^3 \text{ рад/с.} \quad (19)$$

При ударе зерна о поверхность деки почти перпендикулярно энергия вращения зерна уменьшится из-за преодоления сил трения скольжения, возникшего при вращении зерна на поверхности деки. Работа по преодолению сил трения:

$$A_{mp} = M\varphi, \quad (20)$$

где  $M$  – момент силы трения:

$$M = F_{mp} \cdot r_3 = \mu \frac{F_p^o}{2} r_3, \quad (21)$$

где  $\varphi$  – угол вращения зерна при равнозамедленном вращательном движении за время  $t$  столкновения зерна о деку,  $t = 10^{-4}\text{ с}$  [6].

По основному закону динамики вращательного движения

$$M = J_3 \cdot \varepsilon, \quad (22)$$

где  $J_3$  – момент инерции зерна при предположении его шарообразности:

$$J_3 = \frac{2}{5} \cdot m r_3^2. \quad (23)$$

Воспользовавшись формулами (21), (22) и (23), найдем  $\varepsilon$  в виде:

$$\varepsilon = \frac{M}{J_3} = \frac{\mu \frac{F_p^o}{2} r_3}{\frac{2}{5} m r_3^2} = \frac{5\mu F_p^o}{4m r_3}. \quad (24)$$

Используя полученные ранее значения, найдем  $\varepsilon = 2,54 \cdot 10^7 \text{ рад/с}^2$ .

Используя известные значения, найдем изменение угловой скорости зерна  $\omega$  по формуле:

$$\omega = \omega_3 - \varepsilon t = 1,63 \cdot 10^3 \text{ рад/с.} \quad (25)$$

Отметим, что уменьшение угловой скорости зерна оставило 61%.

Вычислим изменение вращательной энергии зерна при преодолении сил трения:

$$\Delta E_{\text{ep}} = \frac{J_3 \omega_3^2}{2} - \frac{J_3 \omega^2}{2} = 3,6 \cdot 10^{-3} \text{ Дж.} \quad (26)$$

Таким образом, при нормальном ударе зерна о поверхность деки со скоростью 12,5 м/с кинетическая энергия зерна гречихи тратится на разрушение оболочки зерна, на сжатие зерна ядрицы, не разрушая ее, и на совершение работы по преодолению сил трения при вращательном движении зерна. Оставшая часть энергии за счет упругих сил взаимодействия ядрицы и деки приведут к отскоку ядрицы от неё по нормали.

Для характеристики упругости удара применяется коэффициент восстановления  $K$  при ударе, который можно определить формулой (13). Эту характеристику рекомендуется назвать первым коэффициентом восстановления  $K_1$ , а вторым коэффициентом восстановления  $K_2$  рекомендуется назвать отношение кинетических энергий тела до  $E_2$  и после  $E_1$  удара [1, 4, 5]:

$$K_2 = \frac{E_2}{E_1} \quad (27)$$

Снова рассмотрим случай неподвижной деки. Зерно ударяется о деку под углом  $\alpha = 77,21^\circ$ . Тогда:

$$K_2 = \frac{0,5m_3 g_n^2 + 0,5m_3 (g_3 \cdot \sin \alpha)^2 + 0,2m_3 g_3^2}{0,7m_3 g_3^2},$$

После преобразования получаем:

$$K_2 = \frac{5}{7} \left( \left( \frac{U_n}{g_3} \right)^2 + \sin^2 \alpha + 0,4 \right) \quad (28)$$

Используя известные значения, найдем  $K_2 = 0,97$ . Такое значение  $K_2$  показывает, что из всей кинетической энергии зерна на шелушение тратится только около 3% энергии, что естественно является низким КПД шелушения.

Рассмотрим случай вертикального падения зерна на поверхность деки, когда дека вращается в сторону противоположную вращению ротора. Вычислим значение  $K_2$ :

$$K_2 = \frac{0,5m_3 U_n^2 + \Delta E_{\text{ep}}}{0,7m_3 g_n^2} \quad (29)$$

При известных значениях  $K_2 = 0,42$ . Как видно из этого примера, КПД шелушения получается гораздо больше, чем в случае с неподвижной декой.

**Выводы.** Выполненные теоретические исследования дают более полное понятие взаимодействия зерна с ротором и декой в рабочей зоне пневмомеханического шелушителя. Кроме этого они показывают коэффициент восстановления зерна с нетрадиционной точки зрения – отношения кинетических энергий до удара зерна о деку и после, что позволяет более точно рассчитать оптимальные конструктивные и технологические параметры пневмомеханических шелушителей.

#### Литература

1. Закиев С.Е., Квурт Ю.П., Хара З., Власак П. Удар маленького тела о поверхность в жидкой среде. Сб. трудов XXVII международной научной конференции «Математические методы в технике и технологиях» ММТ – 27, Саратов.– 2014г. С.8-11.
2. Ибяттов Р.И. К расчету траектории движения зерна в рабочем пространстве пневмомеханического шелушителя с реверсивной декой / Р.Ш. Ибяттов, А.В. Дмитриев, Р.И. Лотфуллин // Вестник Казанского ГАУ. – Казань, 2015. – № 1(35). С. 62-67.
3. Лотфуллин Р.Ш. К определению силы удара зерна о деку пневмомеханического шелушителя / Р.Ш. Лотфуллин, Р.И. Ибяттов, А.В. Дмитриев // Техника и оборудование для села. – 2015. №10. – С 38-40.
4. Лотфуллин Р.Ш., Ибяттов Р.И., Дмитриев А.В. Влияние коэффициента восстановления зерна на процесс шелушения при его ударе о деку пневмомеханического шелушителя. Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-29: сб. трудов XXIX Междунар. науч. конф.: в 12 т. Т.5 / под общей редакцией А.А. Большакова. – Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т; Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), СПбПУ, СПИИРАН; Самара: Самарск. гос. техн. ун-т, 2016. – С. 34-37.
5. Лотфуллин Р.Ш., Ибяттов Р.И., Дмитриев А.В. О коэффициенте восстановления зерна в рабочей зоне пневмомеханического шелушителя. Аграрная наука XXI века. Актуальные исследования и перспективы / Материалы международной научно-практической конференции Института механизации и технического сервиса. – Казань: Издательство Казанского ГАУ, 2016 – С. 116-119
6. Нуруллин Э.Г., Маланичев И.В. Моделирование пневмомеханического шелушения зерна крупяных культур. – Казань: Казанский государственный университет, 2009.
7. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики. М.«Высшая школа». 1998. – С.153-154.
8. Фёдоров Д.Г. Шелушитель зерна гречихи с реверсивной декой/ Д.Г. Фёдоров. А.В. Дмитриев, Ф.З. Кадырова// Сельский механизатор. 2014. – №11. – С 18-19.
9. Устройство для шелушения зерна с реверсивной декой : патент. 140311 Рос. Федерация : МПК В 02 В 3/00 / Дмитриев А.В., Фёдоров Д.Г., Ибяттов Р.И., Лотфуллин Р.Ш. ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Казанский государственный аграрный университет». Заявл. 02.07.2013 ; опубл. 10.05.2014. Бюл. № 13.
10. Устройство для шелушения зерна пневмомеханического типа : патент 2591725 Рос. Федерация : МПК В 02 В 3/00 / Дмитриев А.В., Фёдоров Д.Г., Нуруллин Э.Г., Ибяттов Р.И., Лотфуллин Р.Ш. ; заявитель

и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Казанский государственный аграрный университет». Заявл. 11.03.2015 ; опубл. 20.07.2016. Бюл. № 20.

11. Khaliullin D.T., Dmitriev A.V. Pnevmo mechanical device for grain hulling / Journal of Advanced Research in Technical Science. – North Charleston, USA: SRC MS, GreateSpace. – 2016. Issue 2. – p. 85-88.

**Сведения об авторах:**

Лотфуллин Равиль Шарипович – кандидат физико-математических наук, доцент

Ибяттов Равиль Ибрагимович – доктор технических наук, профессор, e-mail: r\_ibyatov@mail.ru.

Дмитриев Андрей Владимирович – кандидат технических наук, доцент, e-mail: avd-work@mail.ru.

Зиганшин Булат Гусманович – доктор технических наук, профессор, e-mail: zigan66@mail.ru.

ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», г. Казань, Россия.

**ON THE ISSUE OF GRAIN PEELING IN ROTOR PEELERS**

**Lotfullin R.Sh., Ibyatov R.I., Dmitriev A.V., Ziganshin B.G.**

**Abstract.** The article shows the theoretical study of percussive interaction of a grain, which is accelerated by the rotor peelers, with a deck. Theoretically, we defined fracture strength of grain structural elements in case of possible directions of grain and grain impact conditions on deck – under the condition of fixed deck, provided its rotation in the direction of rotor rotation, provided its rotation in the direction opposite the rotor rotation. The work and expended kinetic energy, required for such a failure, was found; the concept of grain recovery rate as the ratio of the kinetic energy before it hit the deck and after was given. Efficiency coefficient of the entire system was defined for different embodiments of grain pin on deck. It is proved that the most effective grain peeling will occur when the deck rotate in the opposite direction of the rotor rotation. In this case, the grain is moved, firstly, in air stream, generated by the rotor, as moving closer to the deck surface it moves in the air flow, generated by it, and changes its direction to reverse movement. That flow is easily controlled by changing the speed of the deck, which makes it possible to obtain a straight line (perpendicular to) hit the grain of it. The carried studies reveal more fully the grain interaction with the deck in the work area of rotor peelers.

**Key words:** peeler, deck, stroke, fracture strength, fracture energy, the speed of impact.

**References**

1. Zakiev S.E., Kvurt Yu.P., Khara Z., Vlasak P. *Udar malenkogo tela o poverkhnost v zhidkoy srede. Sb. trudov XXVII mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii "Matematicheskie metody v tekhnike i tekhnologiyakh"*. MMT-27. (An impact of small unit on the surface in a liquid medium. Collection of works of XXVII International scientific conference "Mathematical methods in engineering and technology". MMT-27). Saratov, 2014. P. 8-11.

2. Ibyatov R.I. The calculation of the trajectory of grain movement in the workspace of rotor peeler with reversible deck. [K raschetu traektorii dvizheniya zerna v rabochem prostranstve pnevmomekhanicheskogo shelushitelya s reversivnoy decoy]. / R.Sh. Ibyatov, A.V. Dmitriev, R.I. Lotfullin // *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – The Herald of Kazan State Agrarian University*. Kazan, 2015. №1(35). P. 62-67.

3. Lotfullin R.Sh. Determination of grain impact force on the rotor deck of peeler. [K opredeleniyu sily udara zerna o deku pnevmomekhanicheskogo shelushitelya]. / R.Sh. Lotfullin, R.I. Ibyatov, A.V. Dmitriev // *Tekhnika i oborudovanie dlya sela. - Machinery and equipment for the village*. 2015. №10. P. 38-40.

4. Lotfullin R.Sh., Ibyatov R.I., Dmitriev A.V. *Vliyaniye koэфfitsienta vosstanovleniya zerna na protsess shelusheniya pri ego udare o deku pnevmomekhanicheskogo shelushitelya. Matematicheskie metody v tekhnike i tekhnologiyakh – MMTT-29: sb. trudov XXIX Mezhdunar. nauch. konf.* (Effect of grain recovery ratio to its peeling process when it hits the deck of rotor peeler. Mathematical methods in engineering and technology. - MMTT-29: collection of works XXIX International scientific conference: in 12 volumes). Vol. 5 / edited by A.A. Bolshakov. – Saratov: Saratov. gos. tekhn. un-t; Sankt-Peterburg: SPbGTI(TU), SPbPU, SPIIRAN; Samara: Samarsk. gos. tekhn. un-t, 2016. – P. 34-37.

5. Lotfullin R.Sh., Ibyatov R.I., Dmitriev A.V. *O koэфfitsiente vosstanovleniya zerna v rabochey zone pnevmomekhanicheskogo shelushitelya. Agrarnaya nauka XXI veka. Aktualnye issledovaniya i perspektivy. / Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii Instituta mekhanizatsii i tekhnicheskogo servisa.* (On the grain restoration coefficient in the work area of rotor peeler. Agricultural science of the XXI century. Recent research and perspectives. / Proceedings of International scientific and practical conference of Mechanization and technical service Institute). – Kazan: Izdatelstvo Kazanskogo GAU, 2016 – P. 116-119

6. Nurullin E.G., Malanichev I.V. *Modelirovaniye pnevmomekhanicheskogo shelusheniya zerna krupyanykh kultur.* [Modeling of rotor peeling of cereal grain]. Kazan: Kazanskiy gosudarstvennyy universitet. 2009.

7. Targ S.M. *Kratkiy kurs teoreticheskoy mekhaniki.* [Shortcourse of theoretical mechanics]. M.: "Vysshaya shkola". 1998, P. 153-154.

8. Fedorov D.G. Sheller of buckwheat grain with reversible deck. [Shelushitel zerna grechikhki s reversivnoy decoy]. / D.G. Fedorov, A.V. Dmitriev, F.Z. Kadyrova // *Selskiy mekhanizator. - Rural mechanic*. 2014. №11. P 18-19.

9. *Ustroystvo dlya shelusheniya zerna s reversivnoy decoy: pat. 140311 Ros. Federatsiya : MPK V 02 V 3/00.* (The device for peeling grain with reversible deck: Pat. 140311 Russian Federation: IPC B 02 B 3/00 / Dmitriev A.V., Fedorov D.G., Ibyatov R.I., Lotfullin R.Sh.; the applicant and the patentee is Kazan State Agrarian University. Applied 07/02/2013; publ. 05/10/2014. Bull. №13.

10. *Ustroystvo dlya shelusheniya zerna pnevmomekhanicheskogo tipa: pat. 2591725 Ros. Federatsiya : MPK V 02 V 3/00.* (An installation of rotor type for grain peeling: Patent 2591725 Russian Federation: IPC V 02 V 3/00 / Dmitriev A.V., Fedorov D.G., Nurullin E.G., Ibyatov R.I., Lotfullin R.Sh.; the applicant and the patentee is Kazan State Agrarian University. Applied 03/11/2015; publ. 07/20/2016. Bull. №20.

11. Khaliullin D.T., Dmitriev A.V. Pnevmo mechanical device for grain hulling / Journal of Advanced Research in Technical Science. – North Charleston, USA: SRC MS, GreateSpace. – 2016. Issue 2. – p. 85-88.

**Authors:**

Lotfullin Ravil Sharipovich – Ph.D. of Physical and Mathematical sciences, Associate Professor

Ibyatov Ravil Ibragimovich - Doctor of Technical sciences, Professor, e-mail: r\_ibyatov@mail.ru.

Dmitriev Andrey Vladimirovich - Ph.D. of Technical sciences, Associate Professor, e-mail: avd-work@mail.ru.

Ziganshin Bulat Gusmanovich - Doctor of Technical sciences, Professor, e-mail: zigan66@mail.ru.

Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.