УДК 62-932.2:62-408.62

# СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОВЕРХНОСТИ РАЗЛИЧНОЙ ЖЕСТКОСТИ РАБОЧИХ ОРГАНОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ НА ТВЕРДУЮ ЧАСТИЦУ СЫПУЧЕГО ТЕЛА

(1Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 17-01-00323, 17-07-00372)

***© 2017 г. М.В. Суханова, В.П. Забродин***

Взаимодействие сельскохозяйственных продуктов с поверхностью рабочих органов сельскохозяйственных машин в большинстве случаев относится к ударным столкновениям. Ударное столкновение разрушает целостность частиц сыпучих сельскохозяйственных продуктов, что негативно сказывается на их урожайности. Проблема снижения ударного воздействия рабочих органов сельскохозяйственных машин особенно остро стоит при обработке семян перед посевом. При предпосевной обработке предъявляются жесткие требования к микроповреждениям и травмированию семян. Особенно это касается элитных семян сельскохозяйственных культур, а также семян гороха, картофеля и других культур с чувствительной к микроповреждениям верхней оболочкой семени. Повреждение и травмирование семян приводит к потере урожая сельскохозяйственных культур. Предлагается использовать устройства с эластичными рабочими органами для снижения степени травмирования семян. Приводится методика определения ударного действия рабочих органов различной жесткости на частицу зерна. Соударение твердой частицы с жесткой поверхностью рабочего органа рассматривается как упругий удар шара о поверхность. Определена ударная нагрузка на частицу на примере удара семени о жесткую неэластичную поверхность (сталь) и упругоэластичную поверхность (резину). Сила удара частицы о сталь составляет 400 Н. Сила удара частицы о резину составляет 4 Н. Средняя предельная разрушающая нагрузка гороха составляет около 303 Н. Очевидно, что сила удара частицы об упругодеформируемую эластичную поверхность в сто раз меньше ударной силы о жесткую стальную поверхность и значительно меньше разрушающей нагрузки. Результаты проведенного теоретического исследования позволяют сделать выводы о разрушающем действии жестких рабочих органов сельскохозяйственной техники и о целесообразности использования в технологии предпосевной обработки семян рабочих органов из упругоэластичных материалов.

***Ключевые слова***: протравливание, эластичный смеситель, ударная сила, предпосевная обработка семян, ударное столкновение тела, сыпучее тело, смесь.

The interaction of agricultural products with the surface of the working organs of agricultural machines in most cases refers to impact collisions. Shock collision destroys the integrity of particles of free-flowing agricultural products, which negatively affects their yield. The problem of reducing impact of the working organs of agricultural machinery is particularly acute at treating seeds before sowing. At preseeding processing there are strict requirements to microdamages and traumatization of seeds. This especially concerns elite seeds of crops, as well as pea seeds, potatoes and other crops with a sensitive upper seed shell to microdamage. Damage and injury of the seeds lead to a loss of crop yields. There is proposed to use devices with elastic working elements to reduce the kevek of traumatization of seeds. The technique for determining the impact action of working bodies of different rigidity on grain particle is presented. The collision of solid particle with a rigid surface of the working body is considered as an elastic impact of the ball on the surface. The shock load on a particle is determined on the example of seed strike against rigid inelastic surface (steel) and resilient-elastic surface (rubber). The impact force of the particle on the steel is 400 N. The force of the particle force on the rubber is 4 N. The average ultimate breaking load of peas is about 303 N. It is obvious that the impact force of particle on resiliently deformable elastic surface is by hundred times less than the impact force on hard steel surface and it is much less than the destructive load. The results of the conducted theoretical research allow to conclude about the destructive effect of rigid agricultural working bodies and about the advisability of using at pre-sowing processing of seeds working organs that are made of resilient-elastic materials.

***Keywords***: staining, elastic mixer, impact force, presowing treatment of seeds, impact body collision, free-flowing body, mixture.

***Введение***. В сельскохозяйственном производстве процесс перемешивания продуктов является одним из основных технологических процессов. Прочность и жесткость сельскохозяйственных продуктов и материалов (зерна, кормов и др.) намного меньше прочности и жесткости воздействующих на них рабочих органов сельскохозяйственных машин. А время взаимодействия рабочих органов и отдельных частиц сельскохозяйственных материалов гораздо меньше длительности всего технологического процесса смешивания. Следовательно, столкновение перерабатываемых продуктов (сыпучего тела) с поверхностью рабочих органов является ударным столкновением. В ряде случаев, например, при посеве, при предпосевной обработке семян, ударное взаимодействие семян с поверхностью рабочих органов негативно сказывается на целостности внешней оболочки семени, вызывая ее повреждение и

травмирование. Повреждение и травмирование семян приводит к потере урожая сельскохозяйственных культур.

***Анализ последних публикаций***. Проблема снижения ударного воздействия рабочих органов сельскохозяйственных машин особенно остро стоит при обработке семян перед посевом. При предпосевной обработке предъявляются жесткие требования к микроповреждениям и травмированию семян. Особенно это касается элитных семян сельскохозяйственных культур, а также семян гороха, картофеля и других культур с чувствительной к микроповреждениям верхней оболочкой семени. Семена бобовых культур в большей мере, чем семена зерновых культур, травмируются при севе. Исследование травмирования семян зернобобовых культур при севе проводили Д.Б. Дунаевский и В.И. Онищенко [1]. Учеными установлено, что доля травмирования семян разными высевающими аппаратами составляет от 8% до 15% [1]. В Азово-Черноморском инженерном институте проводятся исследования по созданию и возможности использования устройств с эластичными рабочими органами в технологии предпосевной обработки элитных семян и семян хрупких сельскохозяйственных культур (гороха, сои, картофеля и др.) [2, 3].

***Методика исследования***. Рассмотрим, степень воздействия поверхности различной жесткости на частицу зерна. Определим степень ударной нагрузки на примере удара семени о неэластичную (жесткую) поверхность и эластичную поверхность рабочего органа сельскохозяйственной машины.

Условимся считать зерно (семя) твердой частицей, входящей в состав сыпучего тела – совокупности частиц перемешиваемых продуктов в объеме смесительного устройства. Соударение твердой частицы с жесткой поверхностью рабочего органа можно рассматривать как упругий удар шара о поверхность. При этом время соударения тел гораздо меньше времени движения тела. Оценим силу удара.

Движение материальных тел под действием тех или иных сил происходит в соответствии с законами Ньютона. Ударные силы характеризуются кратковременностью действия и значительной величиной. Координаты рассматриваемой механической системы за время удара не изменяются, а скорости получают конечные приращения. Мерой ударной силы $F_{удара}$ служит её интегральная характеристика – ударный импульс $\vec{I}$. Воспользуемся вторым законом Ньютона в импульсной форме, который гласит, что изменение импульса тела равно импульсу действующей на него силы:

$$\vec{I} = \int_{t_0}^{t_0+\tau} \vec{F}_{удара}(t)dt.$$

Чтобы понять, насколько велико ударное взаимодействие при столкновении сыпучего тела с жесткой неэластичной поверхностью, определим величину этой силы.

Допустим, размеры частицы сыпучего тела $r = 5\,мм = 5 \cdot 10^{-3} м$. Такой размер имеет зерно пшеницы, гороха и многих других сельскохозяйственных культур. Рабочие органы сельскохозяйственных машин изготовляют, как правило, из стали. Скорость распространения звуковой ударной волны в стали составляет около 5000 м/с. [4]. Определим длительность распространения волны сжатия при ударе частицы зерна о стальную поверхность:

$$\Delta t = \frac{r}{v_{зв.}}, \qquad \Delta t = \frac{5 \cdot 10^{-3}}{5000} = 10^{-6} м/с.$$

Оценим силу удара зерна о сталь. Предельная скорость падения зерна в неподвижном воздухе примерно равна $v_{з} = 10\ м/с$ [5]:

$$F = \frac{\Delta I}{\Delta t},$$

где $\Delta I$ – изменение импульса ударной силы, равное количеству движения частицы:

$$\Delta I = m \cdot v;$$

$m$ – масса частицы (зерна),

$$m = 40 \cdot 10^{-6} кг;$$

$v$ – скорость падения частицы (зерна),

$$v_{з} = 10\ м/с.$$

Получим

$$\Delta I = 40 \cdot 10^{-6} \cdot 10 = 40 \cdot 10^{-5} \frac{кг \cdot м}{с} = 40 \cdot 10^{-5} Н \cdot с,$$

откуда сила удара частицы о сталь $F_{CT}=\frac{40\cdot10^{-5}}{10^{-6}}=400H$.

Средняя разрушающая нагрузка семян гороха составляет $F_{ср}$ = 303 Н [6].

А теперь определим силу удара при падении частицы на упругодеформируемую эластичную поверхность. Определим время распространения волны сжатия при ударе частицы об упругодеформируемую эластичную поверхность. В качестве примера принимаем поверхность рабочего органа, изготовленного из резины. Принимаем скорость распространения звуковой волны в резине $v_{зв}=70\frac{м}{с}$ [4]. Получим:

$$\Delta t=\frac{r}{v_{зв.}},\quad \Delta t=\frac{5\cdot10^{-3}}{70}\approx10^{-4}м/с.$$

Силу удара частицы о резину определим по вышеописанной формуле:

$$F_P=\frac{40\cdot10^{-5}}{10^{-4}}=4H.$$

Сравним полученные значения:

$$\frac{F_{CT}}{F_P}=\frac{10^{-6}}{10^{-4}}=100.$$

При сравнении значений видно, что сила удара частицы об упругодеформируемую эластичную поверхность в сотни раз меньше ударной силы о жесткую стальную поверхность.

Используя приведенные выше расчеты, можно определить значения силы удара и для других материалов, используемых для изготовления рабочих органов сельскохозяйственных машин. В таблице 1 приведены расчетные значения силы удара частицы (семени) о различные материалы.

Таблица 1 – Расчетные значения силы удара частицы (семени) о различные материалы

| Материал | Скорость распространения звуковой ударной волны, м/с [4, 7] | Сила удара частицы (семени), Н |
|---|---|---|
| Сталь | 5000 | 400 |
| Дерево | 4050 | 324 |
| Полистирол | 2350 | 188 |
| Полиэтилен | 2000 | 160 |
| Резина | 70 | 4 |

***Вывод.*** Результаты проведенных теоретических исследований позволяют сделать вывод о том, что сила ударного воздействия жестких рабочих органов сельскохозяйственной техники на семена хрупких сельскохозяйственных культур, к которым относят элитные семена, семена бобовых и картофеля, больше предельной разрушающей нагрузки, которую может выдержать семя. Поэтому в качестве материала рабочих органов устройств для предпосевной обработки семян необходимо использовать упругоэластичные материалы, не вызывающие разрушения и позволяющие снизить риски травмирования семян.

**Литература**

1. Фадеев, Л.В. Зерно нельзя бить [Электронный ресурс] / Л.В. Фадеев – Режим доступа: http: //www.twirpx.com. – загл. с экрана.

2. Суханова, М.В. Экспериментальная установка для оценки влияния физико-механических свойств поверхностей смесителя на процесс получения однородных смесей / М.В. Суханова, А.Д. Лопатин // Наука и образование в жизни современного общества. – 2015. – Т. 1. – С. 138–140.

3. Суханова, М.В. К обоснованию теоретического представления процесса смесеобразования в эластичном смесителе / М.В. Суханова // Аграрный научный журнал. – 2014. – № 10. – С. 53–55.

4. Инженерная экология: учебник / под ред. проф. В.Т. Медведева. – Москва: Гардарики, 2002. – 687 с.

5. Прандтль, Л. Гидроаэромеханика / Л. Прандтль. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2000. – 576 с.

6. Крылов, О.Н. О механической прочности семян / О.Н. Крылов, П.В. Дородов // Достижения науки и техники АПК. – 2013. – № 8. – С. 61–63.

7. Кошкин, Н.И. Справочник по элементарной физике / Н.И. Кошкин, М.Г. Ширкевич. – Москва: Наука, 2008. – 206 с.

8. Исследование процесса смешивания в горизонтальном смесителе порционного действия с комбинированным рабочим органом / В.Ф. Хлыстунов, В.А. Михайлов, Г.А. Голованова, В.А. Кириченко // Состояние и перспективы развития сельского хозяйства. – Ростов-на-Дону, 2015. – С. 68–71.

9. Bailey Norwood, F. Agricultural and food controversies / F. Bailey Norwood et al. // Weekend Reading: What

Everyone Needs to Know. – Oxford: Oxford University Press, 2015. – 169 p.

10. Chaddad, F. The economics and organization of Brazilian agriculture / F. Chaddad. – Oxford: Oxford University Press, 2016. – 164 p.

11. Lajpat R. Ahuja, Liwang Ma, Terry A. Howell Whole system integration and modeling – essential to agricultural science and technology in the 21st century // Agricultural system models in field research and technology transfer. – Boca Raton–London–New York–Washington, 2002. – P. 15–21.

12. Green technologies and food production and processing / ed. by I. Joyce Boye and Yves Arcand // Springer New York Dordrecht Heidelberg. – London, 2011. – 681 p.

**References**

1. Fadeev L.V. Zerno nel'zja bit' [Grain can not be beaten], available at: http://www.twirpx.com.

2. Suhanova M.V., Lopatin A.D. Jeksperimental'naja ustanovka dlja ocenki vlijanija fiziko-mehanicheskih svojstv poverhnostej smesitelja na process poluchenija odnorodnyh smesej [Experimental installation for the evaluating influence of the physical and mechanical properties of the mixer surfaces on the process of obtaining homogeneous mixtures], *Nauka i obrazovanie v zhizni sovremennogo obshhestva*, 2015, pp. 138–140.

3. Suhanova M.V. K obosnovaniju teoreticheskogo predstavlenija processa smeseobrazovanija v jelastichnom smesitele [On substantiation of the theoretical representation of the mixture formation process in an elastic mixer], *Agrarnyj nauchnyj zhurnal*, 2014, No. 10, pp. 53–55.

4. Inzhenernaja jekologija: uchebnik. [Engineering Ecology: Textbook], pod red. prof. V.T. Medvedeva, Moscow, Gardariki, 2002, 687 p.

5. Prandtl' L. Gidroajeromehanika [Hydroaeromechanics], Izhevsk, NIC Reguljarnaja i haoticheskaja dinamika, 2000, 576 p.

6. Krylov O.N., Dorodov P.V. O mehanicheskoj prochnosti semjan [On the mechanical strength of seeds], *Dostizhenija nauki i tehniki APK: Teoreticheskij i nauchno-prakticheskij zhurnal*, 2013, No. 8, pp. 61–63.

7. Koshkin N.I., Shirkevich M.G. Spravochnik po jelementarnoj fizike [Handbook of elementary physics], Moscow, Nauka, 2008, 206 p.

8. Hlystunov V.F., Mihajlov V.A., Golovanova G.A., Kirichenko V.A. Issledovanie processa smeshivanija v gorizontal'nom smesitele porcionnogo dejstvija s kombinirovannym rabochim organom [Research of the mixing process in horizontal mixer of portioning action with a combined working organ], *Sostojanie i perspektivy razvitija sel'skogo hozjajstva*, 2015, pp. 68–71.

9. Bailey Norwood F. et al. Agricultural and food controversies, Reading, Oxford: Oxford University Press, 2015, 169 p.

10. Chaddad F. The economics and organization of Brazilian agriculture, Oxford: Oxford University Press, 2016, 164 p.

11. Lajpat R. Ahuja, Liwang Ma, Terry A. Howell. Whole system integration and modeling – essential to agricultural science and technology in the 21st century, *Agricultural system models in field research and technology transfer*, Boca Raton–London–New York–Washington, 2002, pp. 15–21.

12. Green technologies and food production and processing / ed. by I. Joyce Boye and Yves Arcand, Springer New York Dordrecht Heidelberg, London, 2011, 681 p.

**Сведения об авторах**

**Забродин Виктор Петрович** – доктор технических наук, профессор кафедры «Высшая математика и механика», Азово-Черноморский инженерный институт – филиал ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет» в г. Зерноград (Ростовская область, Россия). Тел.: 8 (86359) 43-3-80.

**Суханова Майя Викторовна** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Высшая математика и механика», Азово-Черноморский инженерный институт – филиал ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет» в г. Зерноград (Ростовская область, Россия). Тел.: 8 (86359) 43-3-80.

**Information about the authors**

**Zabrodin Victor Petrovich** – Doctor of Technical Sciences, professor of the High mathematics and mechanics department, Azov-Black Sea Engineering Institute – branch of FSBEI HE «Don State Agrarian University» in Zernograd (Rostov region, Russia). Phone: 8 (86359) 43-3-80.

**Sukhanova Mayya Victorovna** – Candidate of Technical Sciences, associate professor of the High mathematics and mechanics department, Azov-Black Sea Engineering Institute – branch of FSBEI HE «Don State Agrarian University» in Zernograd (Rostov region, Russia). Phone: 8 (86359) 43-3-80.