

УДК 631.374

UDC 631.374

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССА РАБОТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО РОТОРНОГО ЗЕРНОМЕТATEЛЯ

THE THEORETICAL BASES OF THE PROCESS OF THE EXPERIMENTAL ROTOR GRAIN THROWER

Бутенко Александр Фёдорович
к.т.н., доцент

Butenko Alexandr Fyodorovich
Candidate of Technical Sciences, associate professor

Асатурян Андрей Варганович
аспирант

Asaturyan Andrey Vartanovich
postgraduate student

Чепцов Сергей Максимович
аспирант
*Азово-Черноморский инженерный институт
ФГБОУ ВПО «Донской государственный аграрный
университет»*

Cheptsov Sergey Maximovich
postgraduate student
*Azov Black Sea engineering institute of the federal
state budgetary educational institution of the higher
professional education "Donskoy state agrarian uni-
versity"*

Рассмотрен процесс взаимодействия частицы зерна с лопаткой ротора. Выявлены факторы, влияющие на величину напряжения в зерновке при ударе о лопатку. Предложены пути снижения напряжения в зерновке при ударе

The process of interaction of the grain particle with the rotor blade is considered. The factors, which influence the tension size in the grain particle at blow about the blade are revealed. The ways of the tension reduction in the grain particle at blow are offered

Ключевые слова: РОТОРНЫЙ (ЛОПАСТНОЙ) ЗЕРНОМЕТATEЛЬ, ТРАВМИРОВАНИЕ ЗЕРНА, НАПРЯЖЕНИЕ В ЗЕРНОВКЕ

Keywords: ROTOR (BLADE) GRAIN THROWER, TRAUMATIZING OF GRAIN, TENSION IN GRAIN PARTICLE

Аграрными предприятиями Южного Федерального округа применяются машины, выполняющие ряд таких операций как погрузка, разгрузка, транспортирование с одного места на другое зернового материала, а также перелопачивание зернового вороха - это зернометатели. Использование метательных машин является неотъемлемой частью технологического процесса послеуборочной обработки зерна. Известно, что с увеличением операций послеуборочной обработки снижается качество и увеличивается степень повреждения зерна. Задачу сохранения качества зерна в процессе послеуборочной обработки можно решить по одному из путей. Первый путь - это уменьшить количество операций послеуборочной обработки зерна и второй путь – совершенствовать параметры и режимы существующих машин с целью снижения травмирования зерна.

В современном производстве зерновых широкое распространение получили ленточные метатели. Применение таких машин ограничено при обработке семенного материала.

Недостаточное внимание уделено использованию лопастных (роторных) метателей, которые обладают рядом преимуществ по сравнению с ленточными метателями [1, 2]. Повреждение зерна ленточным тримером происходит в момент попадания зерна между прижимным барабаном и бесконечной лентой. Повреждение зерна в лопастном метателе появляется в момент встречи зерна с лопаткой.

Для устранения такого рода повреждений предлагается новое техническое решение - роторный метатель (лопастной) (рис. 1). Процесс метания производится в виде веера, который характеризуется параметром – углом сектора рассева ($2\alpha_m$), т.е., разностью между векторами скоростей бросания крайних частиц. Для выполнения технологического процесса необходимо, чтобы выполнялось условие $2\alpha_m \leq 2\alpha_m^{kp}$. Критическое значение угла сектора рассева $2\alpha_m^{kp} \leq 90^\circ$, в противном случае будет наблюдаться разброс зерна по обе стороны от метателя.

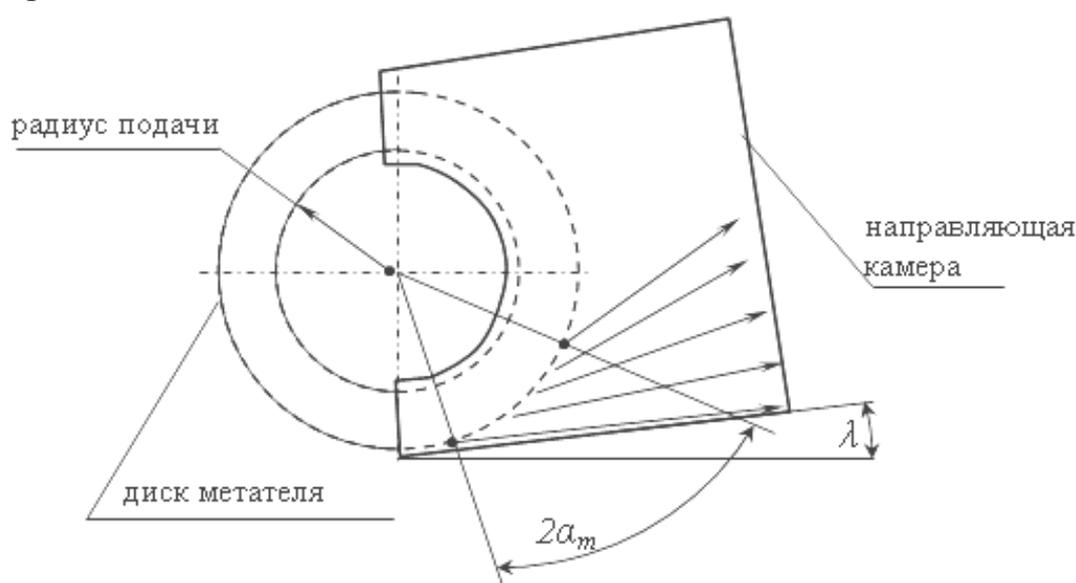


Рисунок 1 Схема процесса образования струи

В данном случае необходимо отметить, что по функциональной структуре все применяемые в настоящее время метатели струйного типа. Основной целью выполняемых операций таких аппаратов является предварительная очистка зернового вороха от грубых примесей (по аэродинамическим свойствам) и частично подсушивание. Признаком разделения зернового вороха при метании является различия в аэродинамических свойствах составляющих его компонентов. К ним относят скорость витания, коэффициент сопротивления и коэффициент парусности. Кроме того, единичные частицы зерна при веерном метании будут лучше обдуваться воздушным потоком, что повысит более эффективный съём влаги с поверхности зерна.

При рассмотрении взаимодействия зерна с лопаткой роторного метателя принимаем следующие допущения:

- взаимодействие зерна с лопаткой рассмотрим для единичной зерновки;
- в момент встречи зерновки с лопаткой происходит удар и дальнейшее движение зерна осуществляется вдоль лопатки с последующим сходом с периферии лопатки;
- взаимодействие зерновки с лопаткой происходит в определённом положении зерновки (спинкой или бороздкой), показанном на рисунке 2;
- при анализе процесса взаимодействия частицы с лопаткой принимаем идеализированную форму зерновки – эллипсоид вращения (рис. 3).

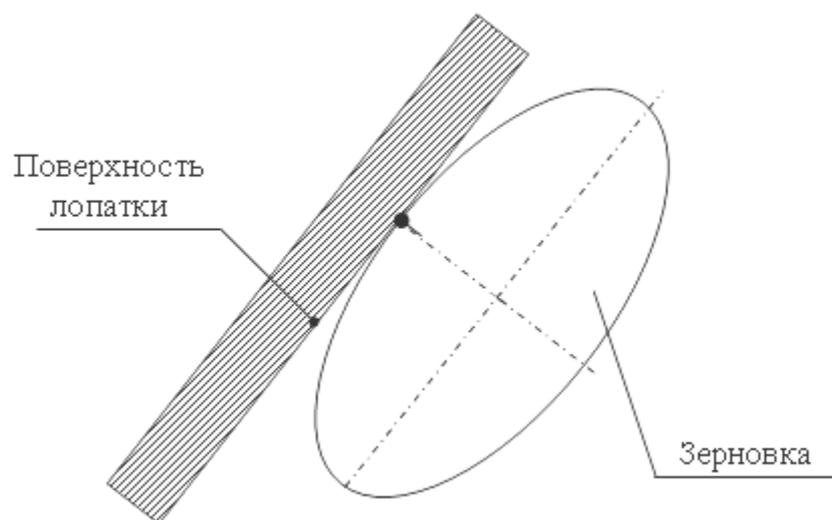


Рисунок 2 – Схема взаимодействия поверхности лопатки с зерном

При исследовании угла постановки лопаток к начальному радиусу наклон вперед по ходу вращения практического интереса не вызывает и рассматриваться не будет, т.к. не соответствует параметрам технологического процесса роторного метателя зерна. Поэтому в работе рассматривается вариант установки лопаток под углом к радиусу назад по ходу вращения.

В процессе взаимодействия частиц зерна с лопатками роторного метателя происходит удар, определяющими факторами которого являются форма лопатки и зерна и скорость в момент удара. При ударе частицы о лопатку характеристикой степени взаимодействия является мгновенная сила. Характеристикой прочности обрабатываемого материала является напряжение. Известно, что чем больше мера воздействия внешней нагрузки на зерно, тем больше зерно повреждается. Исходя из выше изложенного, мгновенную силу при ударе можно рассчитать по гипотезе, предложенной Герцем, который рассматривает процесс удара тел в пределах упругой деформации [3].

При рассмотрении теории Герца И.Я. Штаерман [3] получил решение контактной задачи для нескольких случаев взаимодействия двух тел и установил зависимость для определения мгновенной силы удара:

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

где n – величина, определяемая характером взаимодействия тел (рис. 3);

α – сближение тел в точке контакта (упругая деформация);

k – коэффициент, зависящий от кривизны поверхностей тел в точке контакта и от свойств материала .

$$k = \frac{2n}{2n+1} \cdot \frac{E_{np}}{1-\mu_2^2} \cdot \sqrt[2n]{\frac{1 \cdot 3 \cdot 5 \cdots (2n-1)}{2 \cdot 4 \cdot 6 \cdots 2n} \cdot \frac{1}{A}}, \quad (2)$$

где E_{np} – приведённый модуль Юнга соприкасающихся тел;

$$E_{np} = \frac{2E_1 \cdot E_2}{E_1 + E_2}, \quad (3)$$

$A=r$ - сумма главных кривизн в точке контакта.

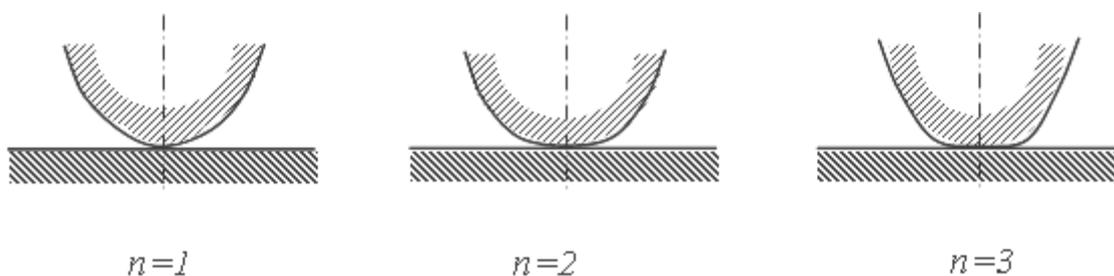


Рисунок 3 – Характерные схемы взаимодействия тел при ударе

Предполагая, что взаимодействие при ударе частицы о лопатку происходит в точке (рисунок 2), имеем $n=1$ и тогда формулы (1) и (2) принимают следующий вид:

$$P = k \cdot \alpha^{\frac{3}{2}}; \quad (4)$$

$$k = \frac{2}{3} \cdot \frac{E_1 \cdot E_2}{E_1(1-\mu_2^2) + E_2(1-\mu_1^2)} \cdot \sqrt{\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{\sum r}}, \quad (5)$$

где E_1, E_2, μ_1, μ_2 - модули Юнга и коэффициенты поперечной деформации (Пуассона) зерна и материала лопатки.

Анализ зависимости (4) указывает на то, что чем меньше коэффициент k , тем меньше сила, а следовательно и повреждаемость зерна.

При определении кривизны зерновки учитывая допущение, что форма зерновки представляет собой эллипсоид вращения, её размеры обозначим как полуоси a и c с шириной b (рисунок 4).

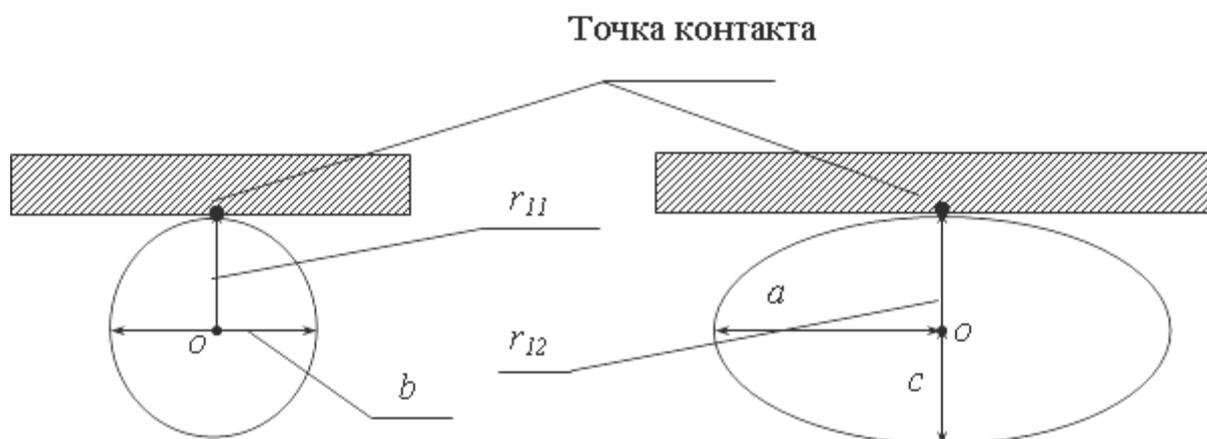


Рисунок 4 – Схема взаимодействия лопатки с зерном идеальной формы

В общем случае с учётом характера взаимодействия зерновки с лопаткой получим:

$$k = \frac{2}{3} \cdot \frac{E_1}{(1-\mu^2)} \cdot \left(\frac{E_2}{E_1 + E_2} \right) \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{c \cdot a^2}{a^2 + c^2} \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (6)$$

Известно, что коэффициент Пуассона для всех материалов колеблется в пределах от 0 до 0,5, и для многих материалов в среднем от 0,25 до 0,35. Поэтому принимаем и для зерна и для материала лопатки $\mu_1 = \mu_2 = \mu = 0,3$.

Анализ выражения (6) применительно к нашим условиям, показывает, что в случае использования стальной лопатки модуль Юнга составит $E_{cm} = E_2 = 2 \cdot 10^5 \text{ Mna}$ и это намного больше, чем для зерна $E_{зер} = E_1 = 10-40 \text{ Mna}$

[4], тогда выражение в скобках $\left(\frac{E_2}{E_1 + E_2}\right)$ близко к 1. Если поверхность лопатки покрыть материалом, у которого модуль Юнга будет не более 300 Мпа , тогда характер взаимодействия будет иным. Это означает, что при меньшей разности между модулями Юнга зерна и контактируемого материала коэффициент k снижается и зависит также от размеров зерна, что подтверждают графические зависимости на рисунке 5. Кроме этого, с увеличением размеров единичных зёрен коэффициент k увеличивается. Так значение коэффициента k для фракции крупного зерна, примерно, в два раза больше, чем для мелкой фракции.

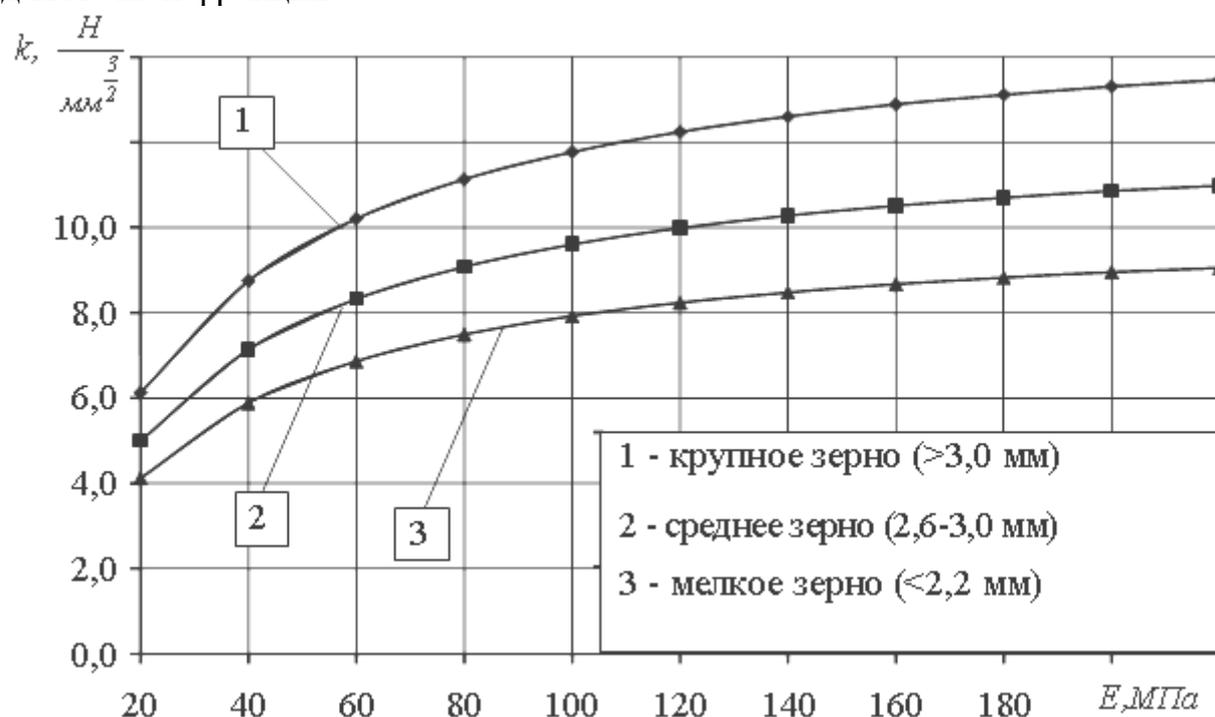


Рисунок 5 – Зависимость коэффициента k от модуля Юнга E для крупной, средней и мелкой фракций единичных зёрен

В момент удара упругая деформация частицы равна [3]:

$$\alpha = \left[\frac{5}{4} \cdot \frac{mV_n^2}{k} \right]^{\frac{2}{5}},$$

где V_n – относительная скорость соударяющихся тел (далее $V_n = V_{n1}$).

m – приведённая масса ударяющихся тел.

$$m = \frac{m_1 \cdot m_2}{m_1 + m_2} = m_1 \cdot \left(\frac{m_2}{m_1 + m_2} \right), \quad (7)$$

где m_1 и m_2 – массы, соответственно, зерна и лопатки.

Имея в виду то, что масса лопатки во много раз превышает массу частицы, в выражении (7) множитель в скобках приближённо равен 1. Исходя из этого принимаем, что приведённая масса равна массе частицы зерна ($m=m_1$).

С учётом всех преобразований формула (1) принимает вид:

$$P = k \cdot \left[\frac{5}{4} \cdot \frac{m_1 V_H^2}{k} \right]^{\frac{3}{5}}. \quad (8)$$

Анализ формулы (8) показывает, что мгновенная сила при ударе зависит и от скорости в начальный момент удара.

По теореме изменения количества движения материальной точки и в зависимости от схемы взаимодействия зерна с лопаткой до и после удара (рисунок б) получаем составляющие относительной скорости частицы до удара:

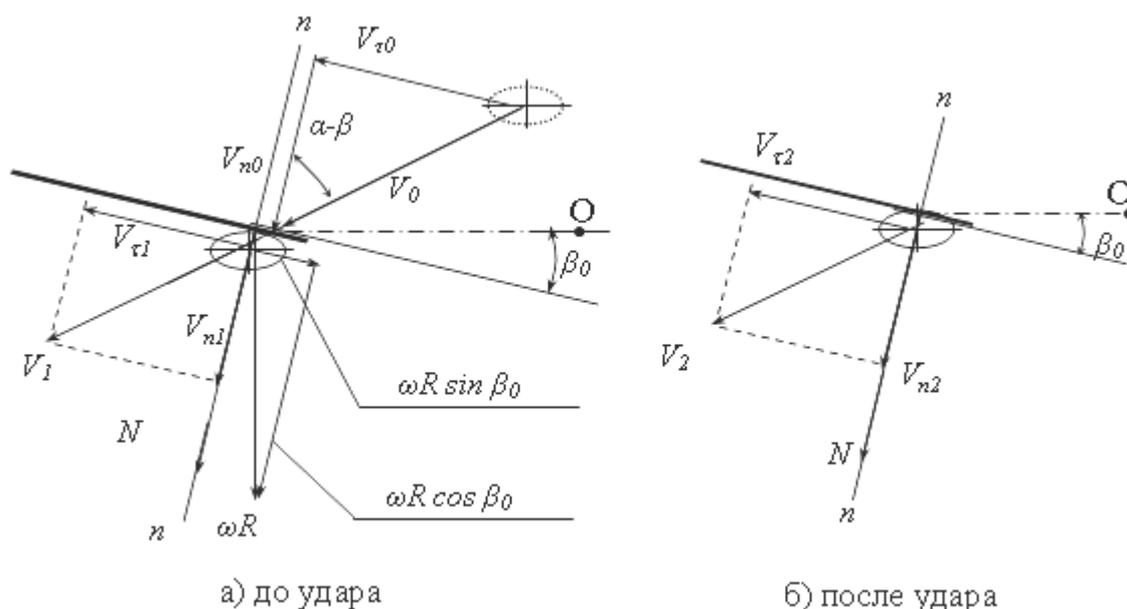


Рисунок б – Схема относительных скоростей частицы зерновки до и после удара с наклонной лопаткой

$$V_{n1} = \omega r \cdot \cos \psi_0 - V_0 \cdot \sin(\alpha + \psi_0); \quad V_{\tau 1} = \omega r \cdot \sin \psi_0 - V_0 \cdot \cos(\alpha + \psi_0) \quad (9)$$

После удара:

$$V_{n2} = s \cdot V_{n1} = s \cdot (\omega R \cdot \cos\beta_0 - V_0 \cdot \sin(\alpha + \beta_0))$$

$$V_{\tau 2} = \omega R \cdot \sin\beta_0 - V_0 \cdot \sin(\alpha + \beta_0) + f \cdot (\omega R \cdot \cos\beta_0 - V_0 \cdot \cos(\alpha + \beta_0)) \cdot (1 - s) \quad (10)$$

В результате полученной зависимости (10) установлено, что для снижения величины скорости V_{n1} необходимо стремиться к снижению частоты вращения лопаток, уменьшению радиуса подачи зерна на лопатки, увеличению угла постановки лопаток назад по ходу вращения и увеличению начальной скорости зерновки.

Характеристикой прочности зерновки является напряжение, которое определится по зависимости

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (11)$$

где A – площадь поперечного сечения.

В результате полученных значений нормальной составляющей относительной скорости V_{n1} и коэффициента k рассмотрим более подробно влияние этих факторов на величину напряжения (рисунки 7 и 8).

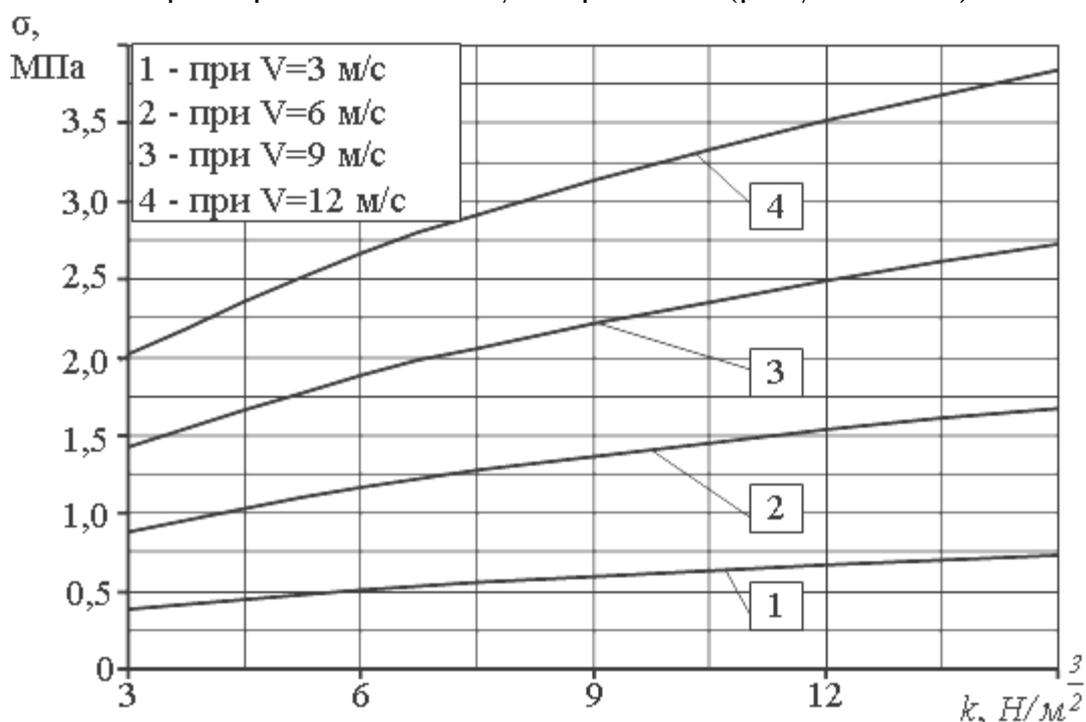


Рисунок 7 – Зависимость напряжения в зерновке от коэффициента k

В результате полученных зависимостей (рисунок 7) видно, что с увеличением коэффициента k с 3 до 15 единиц величина нормального напряжения увеличивается, в среднем, в 2 раза.

Увеличение скорости V_{nl} от 2 до 10 м/с приводит к увеличению напряжения в 10 раз, что, в свою очередь, влияет на качество обрабатываемого материала (рисунок 8).

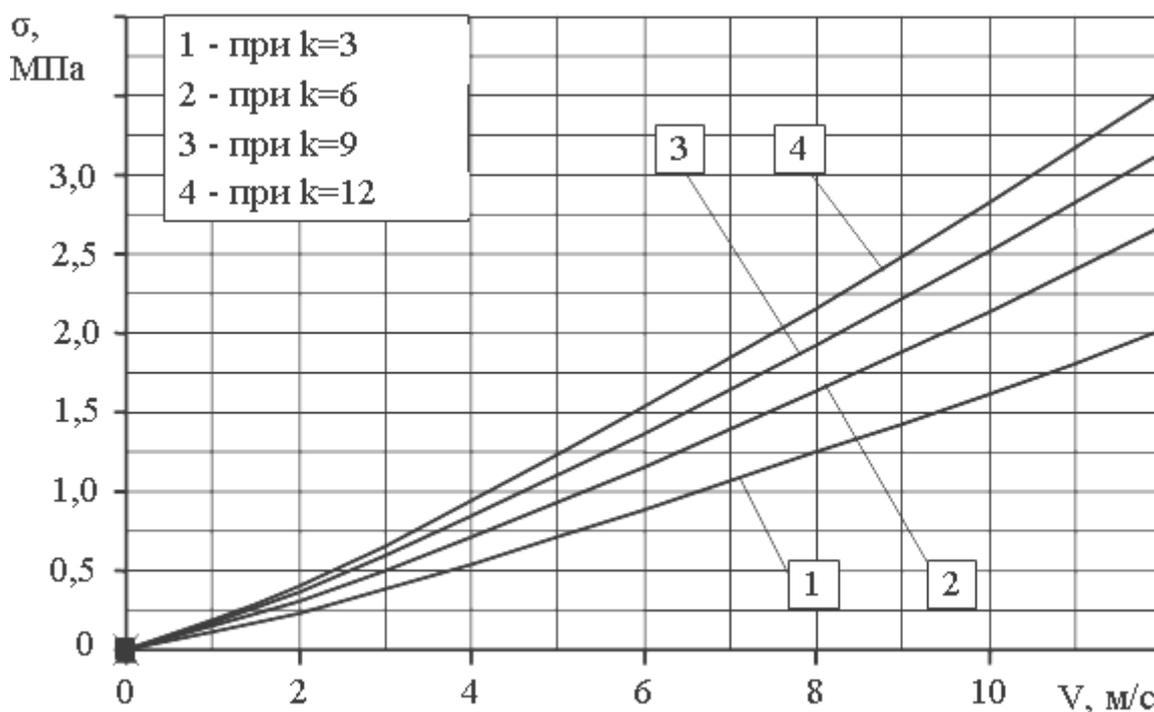


Рисунок 8 – Зависимость напряжения от скорости V_{nl}

Выводы

В результате проведённого анализа установлено, что для уменьшения ударного взаимодействия зерновки с лопаткой необходимо уменьшить скорость в момент удара. Технически это можно реализовать уменьшением радиуса подачи (встречи) зерновки с лопаткой.

С другой стороны, при установке на стальные лопатки полиэтиленовых накладок (ПЭВД), с модулем Юнга от 50 до 240 Мпа приведёт к снижению напряжения в момент удара в несколько раз.

Литература

1. Бутенко А.Ф. Обоснование параметров и режимов технологического процесса работы роторного зернометателя по критерию снижения травмирования зерна: Дисс. ... канд. техн. наук. Зерноград, 2005. 186 с.
2. Шабанов Н.И. Параметры ускоряющей крыльчатки экспериментального рабочего органа зернометателя / Н.И. Шабанов, А.Ф. Бутенко // Материалы научно-технической конференции. Челябинск, 2004. Ч. 2. – С. 196-200
3. Пономарёв С.Д. Расчёты на прочность в машиностроении /С.Д. Пономарёв, В.Л. Бидерман, К.К. Лихачёв, В.М. Макушин, Н.Н. Малинин, В.И. Феодосьев. – М: Машгиз, 1959. Ч. 2.-3. – 1120 с.
4. Бутенко А.Ф. Анализ травмирования семян зерновых культур / А.Ф. Бутенко, В.А. Максименко // Исследование и разработка эффективных технологий и технических средств для животноводства: Сборник научных трудов; Российская академия сельскохозяйственных наук; Всероссийский научно-исследовательский и проектно-технологический институт механизации и электрификации сельского хозяйства (ВНИПТИМЭСХ). Зерноград, 2004. С. 75-83.

References

1. Butenko A.F. Obosnovanie parametrov i rezhimov tehnologicheskogo processa raboty ro-tornogo zernometatelja po kriteriju snizhenija travmirovaniija zerna: Diss. ... kand. tehn. nauk. Zernograd, 2005. 186 s.
2. Shabanov N.I. Parametry uskorjajushhej kryl'chatki jeksperimental'nogo rabo-che-go organa zernometatelja / N.I. Shabanov, A.F. Butenko // Materialy nauchno-tehnicheskoi konferencii. Cheljabinsk, 2004. Ch. 2. – S. 196-200
3. Ponomarjov S.D. Raschjoty na prochnost' v mashinostroenii /S.D. Ponomarjov, V.L. Biderman, K.K. Lihachjov, V.M. Makushin, N.N. Malinin, V.I. Feodos'ev. – M: Mashgiz, 1959. Ch. 2.-3. – 1120 s.
4. Butenko A.F. Analiz travmirovaniija semjan zernovyh kul'tur / A.F. Butenko, V.A. Maksi-menko // Issledovanie i razrabotka jeffektivnyh tehnologij i tehniche-skih sredstv dlja zhivotnovodstva: Sbornik nauchnyh trudov; Rossijskaja akademija sel'skohozjajstvennyh nauk; Vserossijskij nauchno-issledovatel'skij i proektno-tehnologicheskij institut mehanizacii i jelektifikacii sel'skogo hozjajstva (VNIPTIMJeSH). Zernograd, 2004. S. 75-83.