

усилия при межвальцовом зазоре от 0,5 до 1,25 мм в диапазоне влажности зерна от 22 до 30 %. Наблюдается общая тенденция снижения распорного усилия с увеличением зазора между вальцами и повышением влажности зерна.

01.09.2014

### Литература

1. Леонов, А.Н. Основы научных исследований и моделирования: учебно-методический комплекс / А.Н. Леонов, М.М. Дечко, В.Б. Ловкис – Минск: БГАТУ, 2010. – 276 с.
2. Гусаков, В.Г. Организационно-технологические нормативы производства продукции животноводства и заготовки кормов: сб. отраслевых регламентов / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т экономики НАН Беларуси, Центр аграр. экономики; разраб. В.Г. Гусаков [и др.]. – Минск: Белорусская наука, 2007. – 283 с.

УДК 636.085:7:631.363.21

**В.И. Коновалов, И.Б. Шагдыров,  
М.Б. Балданов**

*(ФГБОУ ВПО «Бурятская  
государственная сельскохозяйственная  
академия им. В.Р. Филиппова»,  
г. Улан-Удэ, Республика Бурятия);*

**А.И. Пунько**

*(РУП «НПЦ НАН Беларуси по  
механизации сельского хозяйства»,  
г. Минск, Республика Беларусь)*

**АНАЛИЗ ПРОЦЕССА  
ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ  
ФУРАЖНОГО ЗЕРНА  
В ОДНОВАЛЬЦОВО-  
ДЕКОВОМ  
ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЕ**

### Введение

Несовершенство рабочих органов одновальцово-декового измельчителя приводит к неоднородности гранулометрического состава готового продукта [1]. Если недоизмельченные частицы после просева можно вернуть на повторное измельчение, то с переизмельченными этого сделать нельзя. Они являются мерой несовершенства процесса, приводящего к излишним энергозатратам, плохо усваиваются организмом животного.

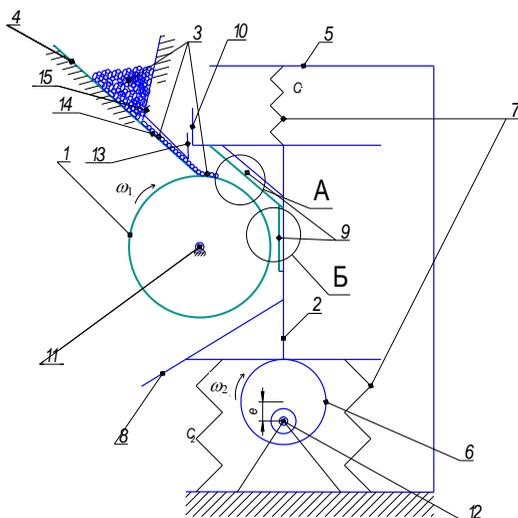
Поэтому как оценочные показатели эффективности технологического процесса измельчения зерна на одновальцово-дековом измельчителе и качества измельченного материала были взяты удельная энергоемкость при дроблении частиц  $\mathcal{E}$  ( $Bт \cdot ч / кг$ ) и модуль помола  $M$  ( $мм$ ) [2].

При исследовании конструкции измельчающей машины применялись аналитические, графоаналитические и экспериментальные методы с целью обоснования технологического процесса измельчения зерна, предложенной математической модели и параметров одновальцово-декового измельчителя [3].

## Результаты исследований и их анализ

Техническим решением снижения материало- и энергоемкости является использование в качестве рабочих органов вращающегося рифленого вальца уменьшенного диаметра и деки особой формы, совершающей возвратно-поступательное движение относительно центра вращения вальца. Дека совершает возвратно-поступательное движение относительно центра вращения вальца и приводится в движение эксцентриковым вибровозбудителем. Подача измельчаемого материала осуществляется в зазор между вальцом и декой (рисунок 51) [4, 5].

Измельчающая часть измельчителя вальцедекового типа (рисунок 51) состоит из вращающегося вальца, установленного на подшипниковых опорах, корпуса декового узла, декодержателя, расположенного на упругих опорах в корпусе и приводимого в возвратно-поступательное движение в вертикальной плоскости при помощи эксцентрикового вала, установленного также на подшипниковых опорах. На декодержателе размещены деки в виде рифленых пластин и экран, предотвращающий выбрасывание неизмельченного материала.



- 1 – измельчающий валец;
- 2 – декодержатель;
- 3 – измельчаемый материал;
- 4 – бункер;
- 5 – корпус декового узла;
- 6 – эксцентриковый вал;
- 7 – упругие элементы;
- 8 – направляющая;
- 9 – деки (рифленые пластины);
- 10 – экран;
- 11, 12 – подшипниковые опоры;
- 13 – экран питателя;
- 14 – гравитационный питатель

**Рисунок 51 – Структурно-кинематическая схема одновальцево-декового измельчителя**

Питающая часть измельчителя состоит из бункера, экрана, гравитационного питателя, представляющего собой наклонную плоскость или желоб и заслонку для регулирования величины потока поступающего материала. Измельченный продукт по направляющей выводится из измельчителя.

Теоретические исследования процесса движения и измельчения зерна в одновальцево-дековом измельчителе построены на основе урав-

нения энергетического баланса механической системы. При разработке теоретических предпосылок была выдвинута научная гипотеза об изменении кинетической энергии одновальцово-декового измельчителя, рассматриваемого как изолированная механическая система, за счет работы сил разрушения измельчаемого материала.

На основе структурно-кинематической схемы (см. рисунок 51) разработана физическая модель технологического процесса разрушения зерна в одновальцово-дековом измельчителе (рисунок 52).

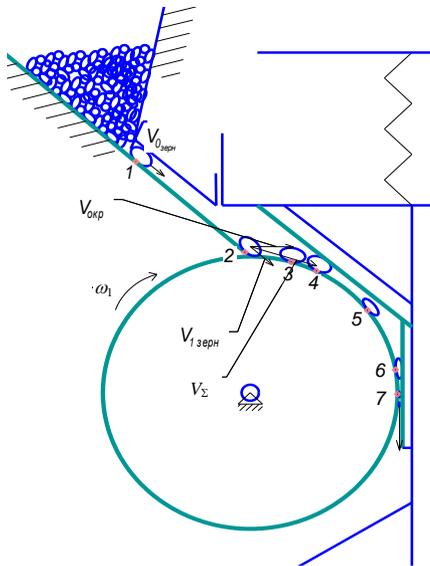


Рисунок 52 – Основные переходные точки движения измельчаемого продукта в измельчителе

Измельчение материала 3 происходит в зонах А и Б (рисунок 51).

Для детального изучения измельчения материала на данном типе измельчителя необходимо разделить технологический процесс измельчения, начиная от поступления в бункер неизмельченного материала и заканчивая выходом готового измельченного продукта, на стадии или участки с соответствующими переходными точками (рисунок 52).

Движение материала начинается в т. 1. В т. 2 частица приобретает максимальную скорость  $V_{1зерн}$  в конце желоба и захватывается вращающимся с окружной скоростью  $V_{окр}$  вальцом; т. 3 – движение зерновки стабилизируется, суммарная скорость зерновки  $V_{\Sigma}$  становится равной окружной скорости вальца  $V_{окр}$ ; т. 4 – происходит захват зерновки в первую зону измельчения; т. 5 – выход предизмельченного продукта из первой зоны; т. 6 – захват предизмельченного материала второй зоной измельчения; т. 7 – выход продукта из второй зоны измельчения.

Для определения связи между конструктивно-режимными параметрами измельчителя и показателями качества измельченного продукта, выраженной в модуле помола  $M$ , с учетом работы, затрачиваемой на образование новой поверхности и разрушение частицы  $A_{разр}$ , было применено уравнение об изменении кинетической энергии механической системы (1):

$$\sum T_1 - \sum T_0 = \sum A_k^e + \sum A_k^i + A_{разр}. \quad (1)$$

Для определения работы разрушения частицы было применено уравнение П.А. Ребиндера, выраженное В.И. Акуновым в следующем виде:

$$A = K + \frac{\sigma_p^2 V_0 Z}{2E} + K_p \Delta S \alpha, \quad (2)$$

где  $K$  – энергия, расходуемая на деформацию и износ рабочих органов измельчителя;

$Z$  – число циклов деформации частиц измельчаемого материала;

$\sigma_p^2 / 2E$  – затраты энергии на упругую деформацию измельчаемого материала;

$V_0$  – первоначальный объем тела;

$K_p$  – энергия на образование 1  $см^2$  новой поверхности.

Определив и подставив все слагаемые в выражение (1), получим уравнение связи технологических критериев оценки качества измельченного продукта с конструктивными и кинематическими параметрами измельчителя для первой (3) и второй (4) зон измельчения [6]:

$$\begin{aligned} & \frac{m\omega_1^2}{2} \left[ \frac{1}{12} (d_{cp}^2 + \Delta_{i\min}^2) + \left( R + \frac{\Delta_{i\min}}{2} \right)^2 - \frac{1}{2} \left( 1,5 \frac{d_{cp}^2}{4} + (d_{cp} + R)^2 \right) \right] - \\ & - \frac{m}{4} (V_{0\partial}^2 + V_{osp}^2 + 2V_{0\partial} V_{osp} \sin(\gamma - \beta)) = \\ & = \frac{\sigma_p^2 V_0 Z}{2E} + K_p \left( \frac{6}{\rho_2 M_1} - \frac{6}{\rho_1 D_3} \right) \left( \frac{D_3}{M_1} \right)^n + (F_{y\pi p_0} + Ce \sin(\omega_2 t)) + e \sin(\omega_2 t) + \\ & + \frac{f \left( F_{y\pi p} \cos \gamma - \frac{F_{y\pi p} \sin(\gamma - \beta)}{f \cos \beta - \sin \beta} \right)}{\cos \beta - f \sin \beta} \left( 2\pi R \frac{\beta}{360} - \frac{f(F_{y\pi p} \sin(\gamma - \beta))}{f \cos \beta - \sin \beta} \right) \left( \left( R + \frac{e \sin(\omega_2 t)}{\cos \gamma} \right) \sin \beta \right). \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\omega_1^2}{2} \left[ \frac{1}{12} \left( \frac{M_2 V_{окп}}{\sqrt{V_{окп}^2 + V_{\partial}^2 - 2V_{окп} V_{\partial}}} \right)^4 + \frac{mV_{окп}}{(i_2) \sqrt{V_{окп}^2 + V_{\partial}^2 - 2V_{окп} V_{\partial}}} \left( \frac{M_2 V_{окп}}{2\sqrt{V_{окп}^2 + V_{\partial}^2 - 2V_{окп} V_{\partial}}} + R \right)^2 \right] - \\ & - \frac{\omega_1^2}{2} \left[ \frac{1}{12} \left( \frac{M_1 V_{окп}}{\sqrt{V_{окп}^2 + V_{\partial}^2 + 2V_{окп} V_{\partial} \cos \xi_{\max}}} \right)^4 + \frac{mV_{окп}}{(i_2) \sqrt{V_{окп}^2 + V_{\partial}^2 + 2V_{окп} V_{\partial} \cos \xi_{\max}}} \left( \frac{M_1 V_{окп}}{2\sqrt{V_{окп}^2 + V_{\partial}^2 + 2V_{окп} V_{\partial} \cos \xi_{\max}}} + R \right)^2 \right] + \\ & + \frac{mV_{\partial}^2}{2(i_2) \sqrt{V_{окп}^2 + V_{\partial}^2 - 2V_{окп} V_{\partial}}} - \frac{mV_{\partial}^2}{2(i_2) \sqrt{V_{окп}^2 + V_{\partial}^2 + 2V_{окп} V_{\partial} \cos \xi_{\max}}} - (F_{y\pi p_0} + Ce \sin(\omega_2 t)) e \sin(\omega_2 t) + \\ & + \frac{fF_{y\pi p} \left( 2\pi R \frac{\xi}{360} \right)}{(\sin \xi - f \cos \xi)(f \sin \xi - \cos \xi)} + \frac{fF_{y\pi p} e \sin(\omega_2 t)}{\sin \xi - f \cos \xi} + \frac{\sigma_p^2 \pi M_1^2 Z}{12E} + K_p \left( \frac{6}{\rho_2 M_2} - \frac{6}{\rho_1 M_1} \right) \left( \frac{M_1}{M_2} \right)^n. \end{aligned} \quad (4)$$

Экспериментальные исследования по определению оптимальных параметров одновальцово-декового измельчителя проводились по мето-

ду сканирования. Адекватность разработанной математической модели производилась при помощи  $F$ -критерия Фишера.

По результатам экспериментальных исследований были построены поверхности отклика модуля помола (рисунок 53) в зависимости от конструктивных ( $\Delta$ ) и кинематических ( $\omega_1, \omega_2$ ) параметров измельчителя.

Для описания процесса измельчения зерна в одновальцово-дековом измельчителе была разработана математическая модель, отражающая закономерность связи технологических критериев оценки качества измельченного материала с конструктивно-режимными параметрами измельчителя.

### Выводы

Оптимальные размеры зазоров между вальцом и декой в первой и второй зонах измельчения равны:  $\Delta_1 = 1 \text{ мм}$ ,  $\Delta_2 = 0,8 \text{ мм}$  – для модуля помола  $M = 0,3–0,8 \text{ мм}$ ;  $\Delta_2 = 1 \text{ мм}$  – для модуля помола  $M = 0,8–2,3 \text{ мм}$ , при амплитуде колебаний деки  $A = 3 \text{ мм}$ .

Теоретически и экспериментально установлено, что при увеличении частот вращения энергоёмкость процесса измельчения увеличивается, так же как и производительность. Оптимальными с точки зрения энергоёмкости процесса измельчения и производительности измельчителя являются величины угловых скоростей вальца и эксцентрикового вибровозбудителя  $\omega_1 = 18,3 \text{ рад./с}$ ,  $\omega_2 = 57,5 \text{ рад./с}$ .

18.08.2014

### Литература

1. Пунько, А.И. Анализ конструкций вальцовых измельчителей зернофуража / А.И. Пунько, Д.И. Романчук, В.Н. Савиных, А.Н. Гуд // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2011. – Вып. 45. – С. 172–178.
2. Комбикорма. Методы определения крупности размолы и содержания неразмолотых семян культурных и дикорастущих растений: ГОСТ 13496.8–72. – Введ. 01.01.1973. – М.: Изд-во стандартов, 1972. – 10 с.

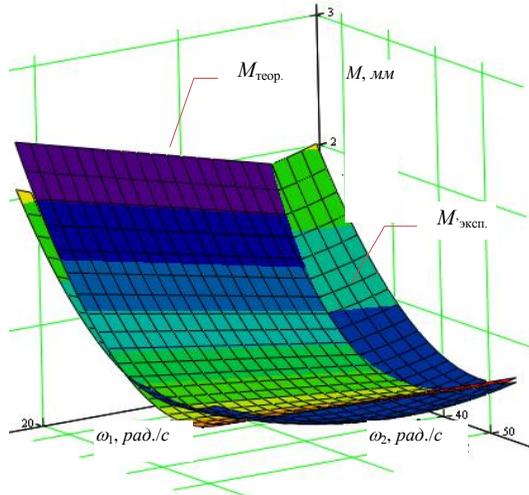


Рисунок 53 – Теоретический и экспериментальный графики изменения модуля помола в зависимости от режимов работы измельчителя

3. Коновалов, В.И. Возможности совершенствования конструкции и повышения эффективности измельчения зерна / В.И. Коновалов, Н.А. Урханов, Ч.С. Данилов, М.Б. Балданов // *Технология и средства механизации в АПК.* – Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2010. – Вып. 5. – С. 12–18.
4. Коновалов, В.И. Обоснование параметров вальцедекового измельчителя зерна / В.И. Коновалов, Н.А. Урханов // *Вестник ВСГУТУ.* – Улан-Удэ: Изд-во ВСГУТУ. – 2012. – № 4 (36). – С. 64–67.
5. Измельчитель сыпучих материалов: пат. РФ 2343001 С1, МПК В02С4/06 / Н.А. Урханов, А.С. Бужгеев, Б.В. Урханов, М.Н. Хомяков; заявитель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Восточно-Сибирский государственный технологический университет», Н.А. Урханов – № 2007114435/03; заявл. 16.04.2007, опубл. 10.07.2009. // *Изобретения. Полезные модели / Официальный бюллетень ФГУ ФИПС.* – 2009. – Бюл. № 1.
6. Коновалов, В.И. Обоснование технологического процесса измельчения и параметров одновальцово-декового измельчителя зерна: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / В.И. Коновалов. – Улан-Удэ, 2013. – 192 с.

УДК 636.085:7:631.363.21

**И.Б. Шагдыров, В.И. Коновалов,  
Б.И. Шагдыров**

*(ФГБОУ ВПО «Бурятская государственная сельскохозяйственная академия им. В.Р. Филиппова», г. Улан-Удэ, Республика Бурятия);*

**А.И. Пунько**

*(РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», г. Минск, Республика Беларусь)*

## **АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНО- РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ НА ПРОЦЕСС ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ФУРАЖНОГО ЗЕРНА В МНОГОСТУПЕНЧАТОМ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЕ**

### **Введение**

Основным направлением развития отраслей животноводства в ближайшие годы является внедрение энерго- и ресурсосберегающих технологий на основе достижения современной науки и передового опыта.

В сельскохозяйственном производстве основными машинами для измельчения зернового материала являются молотковые дробилки. К их недостаткам можно отнести: а) высокие удельные затраты энергии на измельчение – 10...15 кВт·ч/т; б) значительную удельную металлоемкость конструкций – от 300 до 650 кг/т и выше; в) неравномерный фракционный состав измельченного продукта с большим содержанием пылевидной фракции – до 30 % при тонком измельчении и до 20 % недоизмельченной фракции при грубом измельчении, а содержание целых зерен в готовой дерты – более 1 %.