

УДК 631.5:664.73

**ОСОБЕННОСТИ ДЕФОРМАЦИИ ЗЕРНА РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЕЙ**

Семенихин Александр Михайлович  
д.т.н., профессор

Гуриненко Людмила Александровна  
к.т.н.

Иванов Вячеслав Владимирович  
инженер

Шкондин Владимир Николаевич  
аспирант  
*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Азово-черноморская государственная агроинженерная академия, Зерноград, Россия*

Приведено описание деформации зерен при измельчении с учетом упруго-вязких особенностей. Получены зависимости времени, скорости деформации, коэффициента динамичности и геометрических параметров рабочих дисков оригинальной конструкции

Ключевые слова: МОДУЛЬ, РЕЛАКСАЦИЯ, НАПРЯЖЕНИЕ, ВАЛЕЦ, УГОЛ ЗАХВАТА, ЗАЗОР, СТЕПЕНЬ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

UDK 631.5:664.73

**THE PECULIARITIES OF GRAIN DEFORMATION BY CHOPPERS WORKING PARTS**

Semenikhin Alexander Mikhailovich  
Dr.Sci.Tech., professor

Gurinenko Lyudmila Alexandrovna  
Cand.Tech.Sci.

Ivanov Vyacheslav Vladimirovich  
engineer

Shkondin Vladimir Nikolaevich  
postgraduate student  
*Federal State Budget Educational Institution of Higher Professional Education Azov-and-Black Sea State Agroengineering Academy, Zernograd, Russia*

In this article we have given the description of grain deformation under grinding according to its visco-elastic peculiarities. The relations of time, deformation rate, dynamic coefficient and geometric parameters of the working disks having original design have been shown

Keywords: MODULE, RELAXATION, TENSION, ROLL, NIP ANGLE, GAP, GRINDING DEGREE

Основными операциями приготовления комбикормов для животных и птицы являются очистка, измельчение, дозирование и смешивание. Измельчение – самая энергоемкая операция, регламентируемая требованиями ГОСТ и зоотехническими рекомендациями по степени измельчения (модулю) и фракционному составу, в том числе допустимому содержанию пылевидной фракции. Отклонение от этих технологических требований снижает эффективность применения дорогих кормовых ресурсов (до 20-30%). Поэтому снижение энергоемкости процесса измельчения и получение заданных фракционных характеристик конечного продукта остаются актуальными при переходе к интенсивным и высоким технологиям производства продукции животноводства.

Широко распространенные для измельчения зерна в комбикормовой промышленности и сельском хозяйстве молотковые дробилки, не в полной

мере отвечающие требованиям энергоресурсосбережения, при тонком (мелком) помоле дают до 40% пылевидной фракции, а при крупном (грубом) – до 20% целых и недоизмельченных зерен.

Пылевидная фракция – результат высоких рабочих скоростей и циркуляции продуктов измельчения, наличие целых и недоизмельченных зерен – неуправляемой эвакуации их потока из рабочего пространства измельчителей.

Выполненные в последние годы исследования и предложенные технические решения измельчителей позволяют существенно улучшить энерготехнологические характеристики процессов измельчения. Однако они ориентированы на уменьшение числа ударов при высоких рабочих скоростях [9,4]. Основное внимание исследователи уделяют рабочим органам, их геометрическим и кинематическим параметрам, игнорируя одно из основных положений земледельческой механики, сформулированное академиком В.П. Горячкиным, – основным элементом во всяком технологическом процессе является материал, подлежащий переработке [10].

Энергозатраты на разрушение зерна, в том числе кормовых культур, определяются особенностями его строения и механическими свойствами составляющих, обладающих в совокупности упруго-вязкими реакциями на внешние воздействия. Уровень реакций, сопротивлений зависит от величины и скорости деформаций и характеризуется коэффициентом динамичности, составляющим 1,6-2,0 при скоростях рабочих органов 75 и более м/с [5]. При этом установлено, что упругие деформации составляют до 30%, после чего начинает деформироваться и разрушаться структурный скелет, обладающий вязкими свойствами.

Переход деформаций за границу упругости соответствует стадии предразрушения и при больших скоростях вызывает непропорциональное (опережающее) увеличение напряжений.

В механике систем, деформирующихся во времени, поведение таких материалов принято оценивать упрощенным законом линейного деформирования [7].

$$Hn\dot{\varepsilon} + E\varepsilon = \sigma + n\dot{\sigma}, \quad (1)$$

где  $\varepsilon$  и  $\sigma$  – относительная деформация и напряжение;  $\dot{\varepsilon}$  и  $\dot{\sigma}$  – их производные по времени;  $H$  и  $E$  – мгновенный и длительный модули упругости;  $n$  – время релаксации.

Из приведенного закона, по А.Р. Ржаницыну, очевидны два следствия [6,7]:

- при статическом нагружении, пренебрегая производными, имеем закон Гука с длительным модулем упругости  $E$ ;

- при больших скоростях нагружения (деформирования), когда производные велики, получаем закон Гука с мгновенным модулем  $H$ .

В зависимости от скорости деформации (нагружения), таким образом, вязкий элемент выступает как абсолютно жесткий или податливый. Влияние времени нагружения на материал получило в работах Людвиг Больцмана название последействия.

Практический интерес для совершенствования процессов измельчения с явлениями последействия представляют две его стороны: релаксация – изменение напряжений во времени при постоянной деформации и изменение деформации во времени при постоянном напряжении. Алгоритмом для разработки кинетики процесса может служить, по Больцману, положение – уменьшение напряжений при повторной деформации тем больше, чем больше была первая деформация и чем дольше она длилась и тем меньше, чем больше прошло времени от момента первой деформации [6].

Рассматривая различные режимы нагружения упруго-вязких материалов (УВМ) в процессах их обработки, исследователи приходят к целому ряду полезных выводов при разработке рабочих органов прессов, брикети-

ровщиков, грануляторов различных типов. Значительно реже эти явления и их последствия применяются при разработке процессов разрушения в целях измельчения, широко востребованного в кормопроизводстве.

Действительно, решая (1) для постоянных  $E$  и  $\sigma$ , А.Р. Ржаницын[7] приводит графики изменения их во времени (рис. 1).

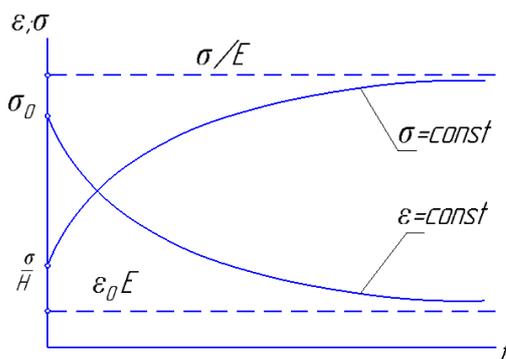


Рисунок 1 – Графики функций  $\sigma = f_1(t)$  при  $\varepsilon = const$  и  $\varepsilon = f_2(t)$  при  $\sigma = const$

Не менее полезным представляется решение (1) для равномерного нарастания  $\varepsilon = \omega t$  и  $\sigma = \nu t$ .

$$\text{Здесь } \nu = \text{Па/с}, \quad \omega = \text{с}^{-1} / 5/: \quad \sigma = E\omega t + n(H - E) \cdot \omega \left[ 1 - \exp\left(-\frac{t}{n}\right) \right] \quad \text{и} \quad (2)$$

$$\varepsilon = \frac{\nu n}{E} \cdot \left(1 - \frac{H}{E}\right) \cdot \left[ 1 - \exp\left(-\frac{Et}{Hn}\right) \right] + \frac{\nu t}{E}. \quad (3)$$

Из уравнения (3) следует, что уже в самом начале нагружения скорость деформации не равна нулю, а при достаточно большом времени нагружения она отличается только от упругой деформации на величину

$$\Delta\varepsilon = \frac{\nu n}{E^2} \cdot (H - E). \quad (4)$$

Из уравнения (3) также следует, что при длительном времени деформирования напряжение стремится к значению

$$\sigma = E\omega t + n(H - E)\omega, \quad (5)$$

в котором величина  $n(H - E)\omega$  показывает динамическое опережение напряжения по сравнению со статическим режимом, когда  $\sigma$  не превышает

ет значения  $E\omega$ . Графическое представление этих режимов (рис. 2) позволяет сделать вывод о соотношении составляющих зависимости (5).

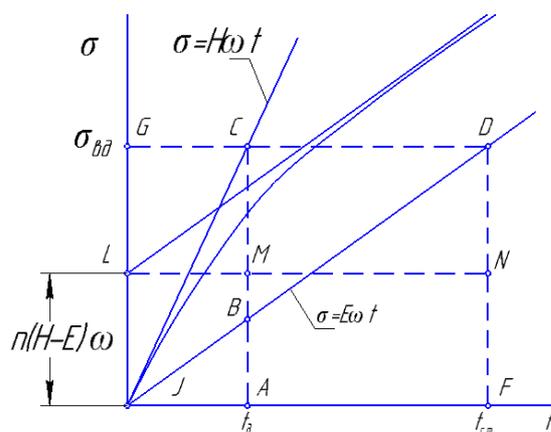


Рисунок 2 – График формирования напряжений и деформаций при различном нагружении УВМ

Очевидно (рис. 2), что каждому УВМ со своими  $H$ ,  $E$  и  $n$ , в зависимости от величины  $\omega$  и времени, соответствуют статическая составляющая и динамическая, равная опережению, зависящему от скорости деформирования  $\omega$  и времени релаксации  $n$  [7]. Их соотношение может составить величину так называемого динамического коэффициента  $k_d$ . Учитывая геометрическое подобие элементов фигуры JGDF, по построению, эти соотношения запишутся в виде

$$\frac{AC}{AB} = \frac{DG}{CG} = \frac{DF}{AB} = k_d. \quad (6)$$

Подстановка результатов построения, выполненного по реализациям широко распространенным в литературе [3,5,6], дает несколько завышенный результат  $k > 2$  по сравнению с известными значениями для горизонтального положения зерен пшеницы, хотя и одного порядка. При вертикальном положении зерен коэффициент динамичности находится в известном диапазоне  $k_d \approx 1,76$ .

Это обстоятельство связано с допущениями, принятыми для описания композиции (модели УВМ) из релаксирующей и нерелаксирующей ячеек,

параметры которых в реальных структурах зерновок варьируют в широких пределах. Для получения более точной информации об изменении напряжений и деформаций во времени, в таких материалах как зерно следует рассматривать три стадии: оболочки (перикарпий и айлероновый слой, структурированный эндосперм и совместная, при почти постоянном напряжении вплоть до разрушения). Эти стадии достаточно отчетливо присутствуют в известных реализациях, представленных в координатах ( $\sigma$  и  $\psi$ ) – (напряжение и относительная деформация), на которых отсутствуют сведения об условиях проведения эксперимента, в том числе скорости относительной деформации  $\psi$  и времени проведения разовых разрушений зерновок [3, 5]. Однако объем представленных выборок позволяет провести монотонную линию тренда функции  $\sigma = f(\varepsilon)$  с достаточной степенью корреляции  $\sigma = \Phi(\psi)$  (рис. 3)[5].

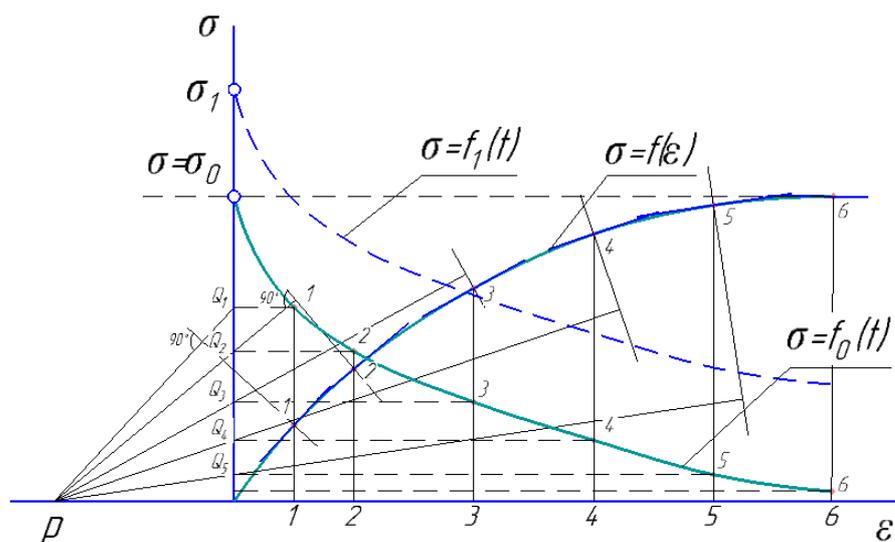


Рисунок 3 – Обоснование особенностей деформирования зерновок по их реализациям

Выполнив ее графическое дифференцирование и, построив график функции  $\sigma = f_0(t)$ , можем с определенной степенью приближения утверждать, что касательные в соответствующих точках функции  $\sigma = f(\varepsilon)$  ни что

инное, как изоклины дифференциального уравнения (1) в частных производных, характеризующего интенсивность нарастания напряжений при постоянной скорости деформации. Чем меньше время, тем больше скорость и

Марка, модель	Подача, т/ч	Мощность, кВт	Частота вращения, мин <sup>-1</sup>	Скорость рабочих поверхностей, с <sup>-1</sup>	Удельная энергоёмкость, кВт·ч/т	Примечание

величина нарастания напряжений. Увеличение (уменьшение) скорости нарастания деформации, согласно (1) приведет к переносу, подъему (опусканию) функции графика  $\sigma = f_0(t)$  на некоторую величину (график  $\sigma = f_1(t)$ ), а отрезок на оси ординат  $(\sigma_1 - \sigma_0)$  составит опережение (отставание) напряжения, соответствующее новым параметрам УВМ, деформирующегося по уравнению  $\sigma = f_0(t)$  без учета конкретных значений  $H_i; E_i; n_i$ . Однако эти особенности как в теории молотковых дробилок, плющилок и вальцевых мельниц, так и исследованиях, выполненных в последние годы не учитываются. Основными параметрами остаются скорость молотков, число ударов и предел прочности зерен на сжатие. Недостаточной информацией об энерготехнологических параметрах современных измельчителей располагают и справочные издания (табл. 1) [8].

1	2	3	4	5	6	7
КДМ-5	до 5	30	2940	73,5	6,0***	МОЛОТКО- ВАЯ
ДМВ	9-18	75-132	1500		8,33- 7,33***	ВЕРТИКАЛЬ- НАЯ
КД-2А	до 3	22	2725	68,1	7,33	90 МОЛОТ- КОВ
УФИ (ГНУ ВНИИМЖ)	3-4	30	—	—	10-7,5	**
Ф-1М	до 2	23,1	2950	73,5	11,55	54 МОЛОТКА
КДМ-2	до 2	30	2725	68,125	15,0***	90 МОЛОТ- КОВ
ЗС25×80	до 4	18	678	8,475	4,5	ЧАСТОТА НАРЕЗНЫХ ВАЛЬЦОВ
ЗМ25×80			430	5,375		НАРЕЗН., ГЛАДКИЕ ВАЛЬЦЫ
	2,0	14	350	4,375	7,0	
Skiold SK-2500	0,5-2	5,5	3000	—	11-2,75*	ДИСКОВАЯ
	SK-5000	2,8-13,5	3000		7,25-2,93*	
Skiold-Prof 10T	6,8-13,5	55	3000	—	8,08-4,07*	ДИСКОВАЯ

Таблица 1 – Сравнительные характеристики некоторых измельчителей зерна

\* - содержание в помоле фракции диаметром менее 1 мм 50%

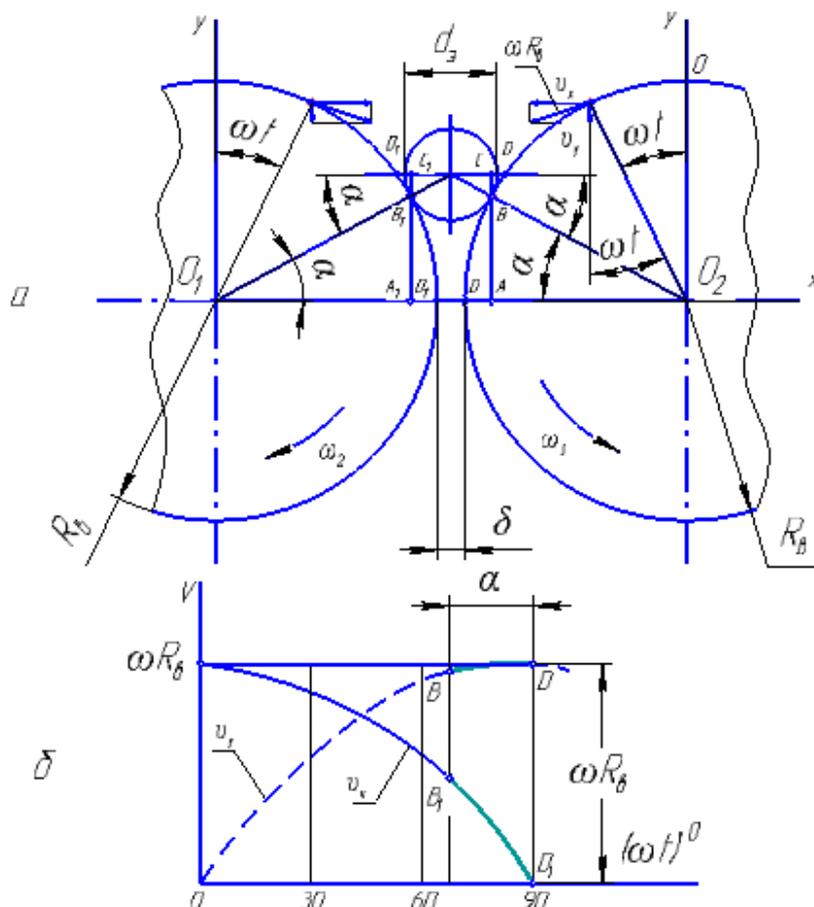
\*\* - уменьшение содержания мучной пыли на 9-17%

\*\*\* - содержание пылевидных частиц 40%

Отсутствуют сведения о фракционном составе готового продукта, мучной пыли и целых зерен. Энергетические показатели, как правило, занижены и соответствуют реальному уровню только для дисковых и вальцовых рабочих органов, которые принципиально отличаются по времени и характеру процесса измельчения от молотковых и ударно-центробежных дробилок.

Время деформации зерна вальцевой парой (рис 4а), от его захвата до выхода из рабочего зазора, составляет  $(5-8) \cdot 10^{-3}$  с, тогда как время активной

фазы удара молотков по зерну и продуктам доизмельчения составляет от  $(4-5) \cdot 10^{-5}$  с до  $(1,2-2,5) \cdot 10^{-5}$  с.



а – рабочее пространство вальцевой пары; б – графики скоростей;  
 $\delta$ -рабочий зазор;  $d_э$ -эквивалентный диаметр зерновки;  $R_b$ -радиус вальца

Рисунок 4 – Деформация зерновки гладкими вальцами при  $\omega_1=\omega_2$ .

Сообщаемая при этом продуктам помола кинетическая энергия, обратно пропорциональная времени, используется неэффективно [1, 5, 10]. Переходя к анализу кинетики процесса измельчения продукта вальцами одинаковых размеров и частоты вращения, запишем уравнения скоростей  $v_x$  и  $v_y$

$$\left. \begin{aligned} v_x &= \omega R_b \cos \omega t \\ v_y &= \omega R_b \sin \omega t \end{aligned} \right\}, \quad (7)$$

из которых следует (рис 4а), что  $v_y$  от точек захвата В и В<sub>1</sub> до точек выхода D и D<sub>1</sub> возрастает (рис 4б) до значения  $\omega R_b$ , а  $v_x$  - скорость деформации уменьшается от величины  $v_x = \omega R_b \sin \varphi$  до «0» (рис 4б). Абсолютная деформация  $\Delta$  зерен в рабочем зазоре при этом составляет

$$\Delta = (D_e + d_s)(1 - \cos \alpha) = d_s - \delta. \quad (8)$$

Тогда время деформации  $t_d = \alpha / \omega$ ;  $\alpha, \text{rad}$ ;  $\omega, \text{c}^{-1}$ . (данные таблицы 1 для измельчителей и 2 для зерна),

Таблица 2 – Геометрические, механические и технологические характеристики зерна

культура	длина, l ширина, b толщина, h, мм	коэффициент трения, $f_c / f_k$	плотность, г/см <sup>3</sup>	предел прочности, МПа	
				статический	динамический
1	2	3	4	5	6
ячмень	7,0...14,6	$\frac{0,36 \dots 0,59}{0,33 \dots 0,47}$	1,3...1,4	7,11...7,28	1 9,81...12,96
	2,0...5,0				
	1,4...4,5				
пшеница	4,0...8,6	$\frac{0,36 \dots 0,58}{0,31 \dots 0,53}$	1,2...1,5	6,47...6,62	11,18...11,98
	1,6...4,0				
	1,5...3,8				
овес	8,0...18,6	$\frac{0,41 \dots 0,61}{0,38 \dots 0,58}$	1,2...1,4	3,91...4,03	6,78...7,04
	1,4...4,0				
	1,2...3,6				
горох	4,0...8,8	$\frac{0,41 \dots 0,43}{0,39 \dots 0,40}$	1,15...1,5	4,55...7,80	7,94...8,43
	3,7...8,0				
	3,5...8,0				

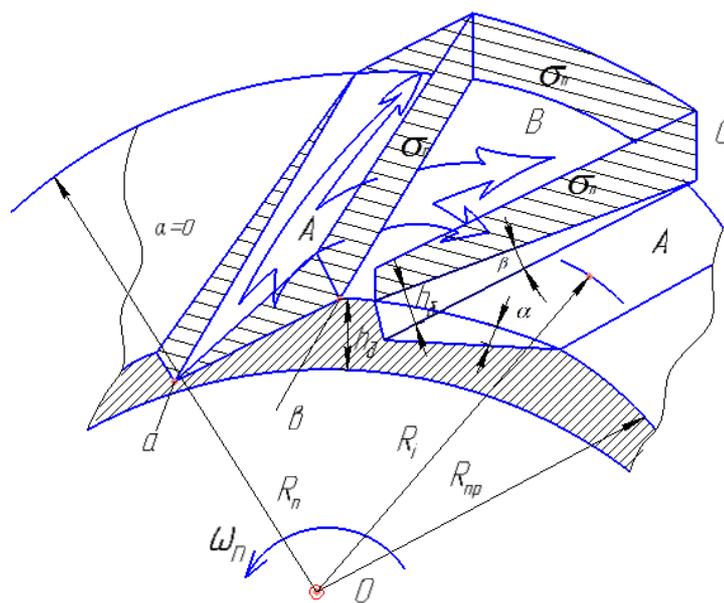
с учетом ориентации зерен в рабочем зазоре вальцевой пары по толщине, в соотношении (8)  $d_s$  принято равным h (табл. 3),  $\alpha = \varphi_i$  – углам трения, равным  $\arctg[(f_c + f_k) / 2]$ , (табл. 2), диаметр вальцов равным  $D_B = 250$  мм и частота вращения  $678 \text{ мин}^{-1}$ . Результаты расчетов времени деформации по культурам, представлены в графе 5 табл.3.

Таблица 3 – Кинетика взаимодействия рабочих органов с зерном

культура	длина, l ширина, b толщина, h, мм	время деформации зерна, с·10 <sup>-5</sup>			
		молотковая дробилка	центробежный измельчитель	вальцовая пара, ф/с	дисковая па- ра
1	2	3	4	5	6
ячмень	7,0...14,6	10...22	35...73	$\frac{4^{\circ} \dots 10^{\circ}}{100 \dots 260}$	420-1050
	2,0...5,0	3,0...7,6	10...25		
	1,4...4,5	2,2...6,9	7,0...26		
пшеница	4,0...8,6	6,1...13,2	20...44	$\frac{4^{\circ} 15' \dots 8^{\circ} 50'}{110 \dots 230}$	315...798
	1,6...4,0	2,5...6,15	7,9...20		
	1,5...3,8	2,3...5,8	7,3...19		
овес	8,0...18,6	12...28	41...94	$\frac{3^{\circ} \dots 8^{\circ} 30'}{70 \dots 210}$	252...756
	1,4...4,0	2,1...6,1	7,0...20		
	1,2...3,6	1,8...5,5	5,9...18		
горох	4,0...8,8	6,1...13	20...44	$\frac{8^{\circ} 30' \dots 13^{\circ}}{220 \dots 330}$	735...1680
	3,7...8,0	5,6...12	18...41		
	3,5...8,0	5,3...12	17...41		

Для центробежного измельчителя (графа 4 табл. 3) процесс взаимодействия элементов дисков с зерном разделен на 3 стадии скоростями (29; 43,5; 58) м/с с одинаковой степенью измельчения между ними равной 2 [4].

Деформация зерна дисковой парой (рис 5) включает время деформации в границах подающих бороздок А, релаксации площадками В подающего пояса и аналогичные составляющие модульного пояса. Наружный диаметр дисков  $R_d=280$  мм, частота вращения подвижного-нижнего диска  $600 \text{ мин}^{-1}$ .



$a - b$  – границы подающих бороздок;  $\alpha, \beta$  – углы подъема дна бороздок в аксиальном и радиальном направлениях;  $\sigma_n$  – эпюры напряжений;  $h_d$  – толщина диска

Рисунок 5 – Геометрия элементов приемного пояса дискового измельчителя

Рабочие поверхности нижнего диска (рис. 5) находились по зависимостям: площадь бороздок подающего пояса –

$$F_\delta = \frac{\pi(R_n^2 - R_{np}^2)}{(\lambda + 1)}; \quad (9)$$

площадь площадок релаксации –

$$F_p = \frac{\pi(R_n^2 - R_{np}^2)}{(\lambda + 1)} \cdot \lambda; \quad (10)$$

площадь модульного пояса –

$$F_m = (F_\delta + F_p) \cdot \lambda, \quad (11)$$

где  $\lambda$  - степень измельчения.

Зерно, попадая в подающую бороздку, перемещается по ее дну в радиальном и аксиальном направлении и сжимается приемным конусом верхнего неподвижного диска до напряжений  $\sigma_n$ . Деформация сохраняется

на площадке релаксации, а энергия частично рассеивается. Переместившись в положение  $R_i$ , зерно вновь сжимается верхним конусом и так далее, достигая разрушающих деформаций. Достигнув границы подающего пояса  $R_n$ , продукты предварительного измельчения попадают в модульный пояс, где доводятся до нужных размеров.

Анализ данных таблицы 1 и 3 показывает, что время разрушения объектов измельчения молотковыми дробилками и центробежными измельчителями величины одного порядка (графы 3 и 4) табл. 3. Близки по значениям и величины удельной энергоемкости. При этом содержание мучной пыли варьирует от 20 до 40 процентов, что характерно для динамического режима.

Время деформации зерен вальцами в разы больше и ближе к статическому режиму (рис 2), а энергоемкость, приведенная к конечному результату (мелкий помол) в 2 и более раза ниже времени измельчения зерна дисковой парой оригинальной геометрии (положительное решение на патент №2012 142839/13 (068860) от 11.11.2013) (рис 5) по результатам расчетов составляет от  $(252...1680) \cdot 10^{-5}$  и, в зависимости от регулировки, в среднем, 2...4 раза больше чем у вальцовой пары. При этом энергоемкость измельчения (средний помол) по приведенным культурам составляет от 1,41...1,96 кВт·ч/кг. Содержание фракции <1 мм на поддоне отсева 2,7% в том числе муки <0,25 мм 1,1%.

Приведенный анализ процесса деформации УВМ, каким является зерно, позволяет сделать вывод о целесообразности разработки многостадийных типов измельчителей, позволяющих существенно снизить энергоемкость процесса измельчения и улучшить фракционный состав продуктов помола.

### Литература

1. Гуриненко Л.А. Физико-механические предпосылки снижения энергоемкости процесса измельчения зерна / Л.А. Гуриненко, В.В. Иванов, А.М. Семенихин и др. // Актуальные проблемы научно-технического прогресса в АПК. сборн. науч. статей по материалам V Международной научно-практической конференции, Ставрополь. – АГРУС, 2010 – с. 67-71.
2. Гуриненко Л.А. Энергосберегающий ступенчатый измельчитель зерна/ Л.А. Гуриненко, В.В. Иванов, А.М. Семенихин // Состояние и перспективы развития сельхозмашиностроения. Ростов-на-Дону. Материалы 5-й международной научно-практической конференции «Интерагромаш – 2012», с. 61-64.
3. Коваленко В.П. Механизация технологических процессов в животноводстве / В.П. Коваленко, И.М. Петренко. – Краснодар, Агропромполиграфист, 2003. – 432с.
4. Ляпин В.В. Совершенствование рабочего процесса ударно-центробежного измельчителя / Автореф. дис.... канд. техн. наук / Воронежский государственный аграрный университет им. К.Д. Глинки. – Воронеж, - 2009. – 18с.
5. Мельников С.В. Механизация и автоматизация животноводческих ферм. Л.: «Колос». Ленингр. Отделение, 1978. – 580с.
6. Особов В.И. Машины и оборудование для уплотнения сено-соломистых материалов / В.И. Особов, Г.Н. Васильев, А.В. Голяновский.// М.: «Машиностроение», 1974, 231с.
7. Ржаницын А.Р. Некоторые вопросы механики систем, деформирующихся во времени. М. – Л.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1949. – 252с.
8. Сельскохозяйственная техника: Кат., т. 4 «Техника для животноводства». – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2008. – 336с.
9. Смышляев А.А. Совершенствование рабочего процесса центробежного измельчителя фуражного зерна/ Автореф. дис.... канд. техн. наук / Алтайский государственный технический университет им. Ползунова. – Барнаул, - 2002г. – 23 с.
10. Сыроватка В.И. Машинные технологии приготовления комбикормов в хозяйствах. – М.: ГНУ ВНИИМЖ, 2010. – 248 с.

### References

1. Gurinenko L.A. Fiziko-mehanicheskie predposylki snizhenija jenergoemkosti processa izmel'chenija zerna / L.A. Gurinenko, V.V. Ivanov, A.M. Semenihin i dr. // Aktual'nye problemy nauchno-tehnicheskogo progressa v APK.sborn. nauch. statej po materialam V Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, Stavropol'. – AG-RUS, 2010 – s. 67-71.
2. Gurinenko L.A. Jenergoberegajushhij stupenchatyj izmel'chitel' zerna/ L.A. Gurinenko, V.V. Ivanov, A.M. Semenihin // Sostojanie i perspektivy razvitija sel'hoz mashinostroenija. Rostov-na-Donu. Materialy 5-j mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Interagromash – 2012», s. 61-64.
3. Kovalenko V.P. Mehanizacija tehnologicheskikh processov v zhivotnovodstve / V.P. Kovalenko, I.M. Petrenko. – Krasnodar, Agroprompoligrafist, 2003. – 432s.

4. Ljapin V.V. Sovershenstvovanie rabocheho processa udarno-centrobezhnogo izmel'chitelja / Avtoref. dis.... kand. tehn. nauk / Voronezhskij gosudarstvennyj agrar-nyj universitet im. K.D. Glinki. – Voronezh, - 2009. – 18s.

5. Mel'nikov S.V. Mehanizacija i avtomatizacija zhivotnovodcheskih ferm. L.: «Kolos». Leningr. Otdelenie, 1978. – 580s.

6. Osobov V.I. Mashiny i oborudovanie dlja uplotnenija seno-solomistyh materialov / V.I. Osobov, G.N. Vasil'ev, A.V. Goljanovskij.// M.: «Mashinostroenie», 1974, 231s.

7. Rzhanicyn A.R. Nekotorye voprosy mehaniki sistem, deformirujushhhsja vo vremeni. M. – L.: Gosudarstvennoe izdatel'stvo tehniko-teoriticheskoj literatury, 1949. – 252s.

8. Sel'skohozjajstvennaja tehnika: Kat., t. 4 «Tehnika dlja zhivotnovodstva». – M.: FGNU «Rosinformagroteh», 2008. – 336s.

9. Smyshljaev A.A. Sovershenstvovanie rabocheho processa centrobezhnogo izmel'chitelja furazhnogo zerna/ Avtoref. dis.... kand. tehn. nauk / Altajskij gosudarstvennyj tehničeskij universitet im. Polzunova. – Barnaul, - 2002g. – 23 s.

10. Syrovatka V.I. Mashinnye tehnologii prigotovlenija kombikormov v hozjajstvah. – M.: GNU VNIIMZh, 2010. – 248 s.