

УДК 621.926.9

**МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ В МЕЛЬНИЦЕ С КОНФУЗОРНЫМИ И КОНФУЗОРНО-ДИФФУЗОРНЫМИ КОЛЬЦЕВЫМИ КАНАЛАМИ**

<sup>1</sup>Ремарчук Н.П., д. т. н., профессор; <sup>2</sup>Ковалева Я.А., преп.  
(<sup>1</sup>Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. Петра Василенка; <sup>2</sup>Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет)

*Приведена методика экспериментальных исследований для установления закономерностей процесса измельчения материалов в мельнице с конфузорными и конфузорно-диффузорными кольцевыми каналами, базирующаяся на использовании теории гидродинамики и планировании многофакторных экспериментов.*

**Введение.** Мельничное оборудование широко используется в различных отраслях промышленности. Известно, что для получения измельченного материала расходуется значительное количество энергии. Для повышения эффективности процесса измельчения материалов в настоящее время ведутся

работы по усовершенствованию существующих и разработки новых конструкций мельничного оборудования.

**Анализ литературных источников.** Известен из литературы [1] способ динамического самоизмельчения материалов, основанный на использовании теории гидродинамики. Так, в корпусе мельницы соприкосновение частиц материала и их «закручивание» происходит благодаря силам взаимодействия наподобие вязкой несжимаемой ньютоновской жидкости. Авторами [2] на основе выполненных исследований получена зависимость для определения коэффициента эквивалентной вязкости для измельчаемого материала. Ими установлено, что величина этого коэффициента зависит от частоты вращения ротора и типоразмера центробежной мельницы.

Выявлено [1, 2], что в созданных мельницах движение и затягивания материала происходит в узких сопряжениях (каналах) по характеру поведения жидкости (принятая гипотеза [1, 2]), то в этом случае для решения практических задач допустимо использование широко известной теории гидродинамики.

**Цель работы** – установить закономерности измельчения материалов в кольцевых конфузорных или конфузорно-диффузорных каналах для созданной конструкции мельницы в процессе ее функционирования в лабораторных условиях.

**Задачи исследований.** Для достижения цели работы необходимо:

- спроектировать и создать опытный образец мельницы с множеством конфузорных или конфузорно-диффузорных кольцевых каналов, которые образуются в сопряжении двух рабочих колец;
- определить контролируемые параметры при измельчении материалов и подобрать измерительные средства для их контроля в лабораторных условиях;
- разработать методику процесса измельчения материалов в лабораторных условиях для проверки уровня соответствия теоретических зависимостей экспериментальным результатам и установить критерий оценки для выбора рациональных параметров съемных рабочих колец мельницы;
- разработать методику определения вязкости измельчаемого материала.
- провести первые поисковые эксперименты по установлению работоспособности созданной мельницы.

### **Результаты исследования.**

1. Поисковыми экспериментами на лабораторной установке [3, 4] установлено, что измельчение материала можно осуществлять путем раздавливания и истирания между специально спрофилированным вращающимся кольцом и неподвижным цилиндрическим кольцом [5, 6]. Совместно эти кольца образуют систему конфузорных или конфузорно-диффузорных кольцевых каналов в зависимости от типа монтируемых колец и обеспечивают (наподобие ньютоновской жидкости) вовлечение материала за счет сил сцепления, возникающими между частицами материала и движущейся одной из поверхностей вращающегося кольца. Спроектированная и

изготовленная мельница, в соответствии с приведенным выше принципом, показана на рис. 1.



Рис. 1 Внешний вид опытной конструкции мельницы

2. Для созданной мельницы (рис. 1) в процессе измельчения материала необходимо измерять следующие параметры:

- мощность, затрачиваемая на процесс измельчения и на холостом ходу работы мельницы;
- гранулометрический состав измельченного материала;
- время измельчения материала;
- частота вращения вала;
- температура в зоне измельчения материала;
- температура и влажность окружающей среды;
- весовое изнашивание колец.

Для контролирования мощности используется прибор электроизмерительный типа ТМ-55, общий вид которого показан на рис. 2.

Прибор предназначен для регистрации таких параметров:

- время проведения опыта;
- активная мощность в текущий момент времени;
- общая мощность необходимая на процесс измельчение материала за определенный промежуток времени.

Диапазон измерения прибора следующий:

- для активной мощности нагрузки – 0,000 ... 3680 Вт;
- для суммарной мощности – 0,000 ... 9999 кВт.

Погрешность измерения прибора ТМ-55 составляет –  $\pm 0,001$  Вт.

Зона размещения показаний на дисплее прибора показана на рис. 3.

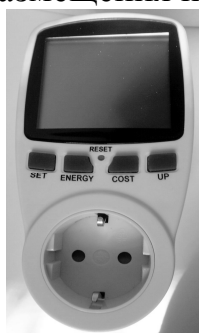


Рис. 2. Общий вид счетчика ТМ-55



Рис. 3. Измеряемые параметры

Для контроля массы измельчаемого материала и колец использовались электронные весы OS-0K51G с предельной массой измерения 200 г.

Погрешность измерения составляет – 1 г.

Гранулометрический состав измельченного материала определяется ситовым анализом.

Частота вращения устанавливалась тахометром ЭП5.1, с диапазоном измерения от 2,5 до 99 999 мин<sup>-1</sup>. Бесконтактный способ измерения частоты вращения обеспечивается в диапазоне от 0,1 до 999,9 мин<sup>-1</sup>.

Погрешность измерения составляет – 0,05±1 %.

Контроль температуры в зоне измельчения материала осуществлялся пирометром Нимбус, диапазон измерения которого от –18 °С до +275 °С.

Погрешность измерения составляет –±2,0 °С.

Температура в помещении измерялась лабораторным термометром.

3. Опытная конструкция мельницы, упомянутая выше, требует проверки уровня соответствия полученных ранее теоретических зависимостей [5, 6] результатам лабораторных испытаний. Для этого необходимо проведение экспериментальных исследований.

Методика проведения экспериментов базируется на использовании [7] ортогонального центрального композиционного плана второго порядка для двух факторов, приведенного в виде табл. 1, который включает 9 опытов для каждой группы колец. Кратность повторения опытов 3.

Таблица 1. Матрица плана второго порядка для двух факторов

Содержание плана	Номер опыта	Факторы		Выходной параметр
		x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	y <sub>1</sub>
План типа 2 <sup>2</sup>	1	+	+	y <sub>1</sub>
	2	–	+	y <sub>2</sub>
	3	+	–	y <sub>3</sub>
	4	–	–	y <sub>4</sub>
«Звездные» точки с плечом α=1	5	+	0	y <sub>5</sub>
	6	–	0	y <sub>6</sub>
	7	0	+	y <sub>7</sub>
	8	0	–	y <sub>8</sub>
Нулевая точка	9	0	0	y <sub>9</sub>

Уровни факторов и интервалы их варьирования для множества конфузорных или конфузорно-диффузорных кольцевых каналов образованных совместно двумя кольцами и при обеспечении минимального разгрузочного канала приведены в табл. 2

Таблица 2. Уровни факторов и интервалы варьирования

факторы	уровни факторов			интервал варьирования
	-1	0	+1	
X <sub>1</sub> – величина минимального разгрузочного канала (величина выходного материала) h <sub>0</sub> , мм	0,2	0,5	0,8	0,3
X <sub>2</sub> – количество зон спрофилированных на наружной поверхности колец, образующих со второй поверхностью конфузорные или конфузорно-диффузорные кольцевые каналы	4	6	8	2

Уравнение регрессии будет иметь следующий вид

$$y = b_0 + \sum_{1 \leq i \leq k} b_i x_i + \sum_{1 \leq i < l \leq k} b_{il} x_i x_l + \sum_{1 \leq i \leq k} b_{ii} x_i^2, \quad (1)$$

где  $b_0, b_i, b_{il}, b_{ii}$  – коэффициенты регрессии;  $x_i, x_{il}, x_{ii}$  – кодированные значения факторов;  $i, l$  – номер фактора;  $k$  – число факторов.

Оценка рациональных параметров мелющих колец ведется по следующему критерию

$$k_m = (\pi D_1 b_k h_0) / N, \quad (2)$$

где  $k_m$  – критерий оценки эффективности, созданной мельницы;  $D_1$  – диаметр рабочей поверхности кольца;  $b_k$  – высота кольца;  $h_0$  – величина минимального зазора между неподвижным и вращающимся кольцами;  $N$  – энергия, расходуемая на измельчение материала.

Для этого используются кольца различного типа. К первой группе относятся конфузорные кольца с четырьмя, шестью и восьмью выступами. К другой группе относятся конфузорно-диффузорные кольца с четырьмя, шестью и восьмью выступами.

4. В экспериментальных исследованиях по определению вязкости материала [5] в зависимости от его физических свойств и размеров используются кольца с гладкой цилиндрической поверхностью. Осисимметричное расположение внутреннего и внешнего колец образует равномерный цилиндрический канал между ними. При вращении внутреннего кольца происходит затягивания материала. Для получения необходимого зазора используются кольца с разными габаритными размерами. Испытания на первом этапе планируются проводить с неабразивными хрупкими материалами.

Определение общей мощности осуществляется при наличии в кольцевых каналах материала за установленный промежуток времени и при его отсутствии за тот же промежуток времени каждого опыта. Для дальнейших расчетов используется разница полученных мощностей за единицу времени

$$N = N_1 - N_2, \quad (3)$$

где  $N_1$  – затраченная мощность при наличии материала в мельнице;  $N_2$  – затраченная мощность при отсутствии материала в мельнице.

При постоянной частоте вращения вала электродвигателя крутящий момент составляет

$$M = \frac{N}{\omega}. \quad (4)$$

Зная размеры мелющих колец и величину крутящего момента, вычисляем динамическую вязкость материала по зависимости [5]

$$\mu = \frac{M(R_2^2 - R_1^2)}{4 \pi b_k \omega R_1^2 R_2^2}, \quad (5)$$

где  $M$  – величина крутящего момента, которая возникает при взаимодействии поверхностей колец с материалом;  $R_1$ ,  $R_2$  – радиусы вращающегося и неподвижного кольца соответственно;  $b_k$  – высота взаимодействия поверхностей колец;  $\omega$  – угловая скорость вращения кольца.

5. Результаты одного из множества экспериментов, выполненных по измельчению зерна, приведены на рис. 4.

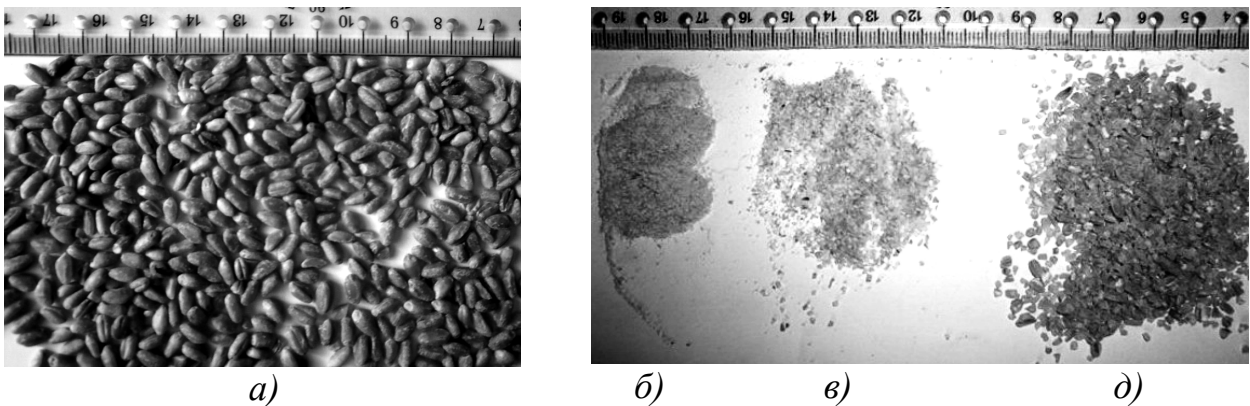


Рис. 4 Результаты исходного и измельченного материала

Для опытов использовались одинаковые порции зерна по массе и его исходному состоянию (рис. 4, а). Зерно подвергалось измельчению в мельнице, после чего полученный материал просеивали. На рис. 4 б), в) и д) приведены результаты измельчения одной из характерных порций зерна. Измельченный материал был условно разделен на три фракции: первая группа а) –  $< 0,2$  мм; вторая б) –  $0,2 \div 0,8$  мм, третья в) –  $> 0,8$  мм.

### Выводы

Для опытной конструкции мельницы, созданной с кольцами образующие конфузорно-диффузорные и конфузорные каналы, предложена методика лабораторных испытаний для определения рациональных параметров колец и установления вязкости измельчаемого материала.

## Список литературы

1. Вискребенец А. С. Обоснование и выбор параметров дробильно-измельчительного комплекса для углеродистого сырья на базе способа динамического самоизмельчения: автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.05.06 / Александр Степанович Вискребенец. – Владикавказ, 2006. – 47с.
2. Хетагуров В.Н. Определение коэффициента эквивалентной вязкости измельчаемых материалов для центробежной мельницы вертикального типа / В.Н. Хетагуров, Е.С. Каменецкий, Б.М. Наниева // Сб. научн. тр. /Горный нформационно-аналитический бюллетень. – М.: МГГУ, 2007.– Вып. 6. – С. 370–372.
3. Ремарчук Н.П. Оборудование для измельчения строительных материалов / Н.П. Ремарчук, Я.А. Ковалева // Наука и молодежь в начале нового столетия. Современные проблемы развития и совершенствования оборудования: Материалы III Междунар. науч.-практ. конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (8-9 апр. 2010 г.). – Губкин: ИП Уваров В.М., 2010. – С. 104–107.
4. Ремарчук М.П. Результати дослідження гідрофікованих силових передач в лабораторних умовах / М.П. Ремарчук, А.П. Холодов, Я.А. Ковальова // Промислова гідравліка і пневматика. – Вінниця: ВДАУ, 2009. – № 4(26). – С. 70–73.
5. Ремарчук М.П. Гідродинамічне подрібнення матеріалів в кільцевих конфузотно-дифузотних зазорах / М.П. Ремарчук, Я.А. Ковальова // Всеукр. наук.-техн. журн. / Промислова гідравліка і пневматика. – Вінниця ВНАУ, 2011. – Вип 4(34). – С. 15–19.
6. Ремарчук М.П. Подрібнення матеріалів в кільцевих конфузотно-дифузотних каналах / М.П. Ремарчук, Я.А. Ковальова // Зб. наук. пр. / Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА ХОТВ АБУ, 2011. – Вип. 64. – С. 199–204.
7. Спиридонов А. А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов / А. А. Спиридонов. – М.: Машиностроение, 1981. – 184 с.

## Аннотація

### **МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСУ ЗДРІБНЮВАННЯ МАТЕРІАЛІВ У МЛІНІ З КОНФУЗОТРИМИ І КОНФУЗОТНО-ДИФУЗОТРИМИ КІЛЬЦЕВИМИ КАНАЛАМИ**

Ремарчук М. П., Ковальова Я. А.

*Наведено методику експериментальних досліджень для встановлення закономірностей процесу здрібнювання матеріалів у млині з конфузотними і конфузотно-дифузотними кільцевими каналами, що базується на використанні теорії гідродинаміки і планування багатотакторних експериментів.*

## **Abstract**

### **EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS TECHNIQUE OF COMMINUTING PROCESS IN A MILL WITH CONFUSER AND CONFUSER-DIFFUSERING CIRCULAR CANALS**

Remarchuk N., Kovalova Y.

*Experimental investigations technique for establishment of regularity of comminuting process of materials in the mill with confuser and confuser-diffusering circular canals based on hydrodynamic theory and design of multifactor experiments is given.*