

ОПИСАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА КРИОИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

Кишкилев С.В., Панов Е.И., Панова Д.Т.
Оренбургский государственный университет

Аннотация.

Актуальной задачей технологических процессов измельчения является уменьшение удельных затрат энергии (энергоёмкости). Причём наиболее важно это для дробилок, мельниц и т.п., то есть для машин, подразумевающих ударное воздействие на обрабатываемый материал. Одним из путей решения данной проблемы является соответствующая подготовка сырья, в частности предварительная обработка холодом.

В связи с этим целью нашего исследования является разработка математической модели с применением глубокой заморозки зернового сырья перед процессом измельчения. Создание математической модели начинается с разработки общей методики исследования процесса глубокой заморозки, а также методики её применения. Далее создаются теоретические модели, которые служат для определения внутренних параметров процесса, а также особенностей применения криообработки материала при измельчении. Завершающим этапом является разработка рекомендаций для реализации криоизмельчения в условиях предприятий комбикормовой промышленности.

Сделан вывод о том, что глубокое замораживание приводит к изменению коэффициента гидравлического сопротивления движению лопасти в воздушно-вихревом слое, и в воздушно-продуктовом слое, коэффициента гидравлического сопротивления корпуса измельчителя вращению воздушно-продуктового слоя и как следствие к изменению мощности, идущей на смешивание воздушно-продуктового слоя.

Ключевые слова: измельчение, энергоёмкость, зерновое сырьё, технологический процесс, мощность, комбикормовая промышленность, математическая модель, ресурсосбережение.

Перспективным и эффективным решением проблем снижения энергоёмкости мы считаем применение глубокой заморозки зернового сырья.

Теоретической базой являются современные представления о закономерностях тепломассопереноса в процессе измельчения.

Следует отметить, что ударно-стирающие воздействия на измельчаемый продукт являются механическими. Таким образом, сам процесс измельчения данного вида необходимо рассматривать как воздействие рабочего органа на перерабатываемый материал посредством механических сил. При механическом измельчении часть энергии идет непосредственно на сам процесс, а часть на потери в окружающую среду. Эффективное проведение процесса ударно-стирающего измельчения связано с переносом энергозатрат в сторону непосредственного измельчения.

Для составления математической модели процесса ударно-стирающего измельчения целесообразно использовать оптимизацию объекта методом

параметрического синтеза [1]. С целью повышения качества готовой продукции и энергосбережения необходимо провести оптимизацию процесса по комплексу параметров эффекта.

Коротков В.Г., Кишкилев С.В., Антимонов С.В. [2] предложили для математического описания процесса ударно-истирающего измельчения модель механизма роторного принципа действия с валом ротора, ось которого расположена вертикально. Энергетический подход, который позволяет получить взаимозависимость энергозатрат на измельчение и на разрушение материала, составляет основу математической модели, предложенной вышеуказанными авторами. Применение подхода Короткова В.Г. с соавторами дает исходные предпосылки для идентификации параметров процесса измельчения. Процесс измельчения, как для без ситовых [2], так и для решетных зернодробилок [3], был изучен при измельчении зерна, причём были составлены математические модели процесса, которые основаны на теореме Эйлера о сумме моментов замкнутой системы [4]. При исследовании характеристик воздушно продуктового слоя, проведенного рядом авторов, выявлено, что его плотность, геометрические размеры частиц, окружная скорость и ряд других параметров определяют эффективность процесса измельчения [5]. Однако при этом не учитывалось применение глубокой заморозки сырья перед процессом измельчения, что учтено нами при построении математической модели.

Рассмотрим движение продукта в измельчителях центробежного типа.

В работах Кобылкина Д.С. с соавторами рабочая зона дробилки представлена в виде пространства, сочетающего воздушно - вихревую зону и воздушно продуктовый слой [5]. Причём следует отметить, что воздушно - вихревая зона в месте соприкосновения с воздушно - продуктовым слоем имеет ярко выраженную разделительную поверхность, расположение которой определяется окружной скоростью ротора, плотностью воздушно - продуктового слоя и геометрическими размерами отдельных частиц.

На основании вышеизложенного и с учетом сопротивлений воздушно – продуктового и воздушно – вихревых слоев авторами разработана математическая модель включающая следующие зависимости:

При работе измельчителя большое количество энергии расходуется на работу полезных сил, что напрямую влияет на степень измельчения. Мощность, которая расходуется на работу полезных сил, можно определить из баланса мощностей, который можно представить в виде:

$$N_2 + N_a = N_c + N_{uz} + N_{2cl} + N_{3cl} \quad (1)$$

где N_2 - мощность, передаваемая ротором непосредственно воздушно-продуктовому слою, Вт/кг;

N_a - мощность, передаваемая через границу воздушно-продуктового слоя и воздушно-вихревой зоны, Вт/кг;

N_c - мощность, выделяемая воздушно-продуктовым слоем при трении о стенку рабочей камеры измельчителя, Вт/кг;

$N_{уз}$ - мощность, затрачиваемая на процессы измельчения, Вт/кг;

$N_{2сл}$ - мощность, идущая на смешивание воздушно продуктового слоя на участке 2, Вт/кг.

$N_{3сл}$ - мощность, идущая на смешивание воздушно продуктового слоя на участке 3, Вт/кг.

Мощность, передаваемая дробилкой непосредственно воздушно-продуктовому слою, равна

$$N_2 = z_l \xi_{2,l} h_l \frac{\rho_c \omega_0^3 r_a^3}{2} \left(\frac{\psi_1^2 (1 - \bar{r}_{вн}^8)}{8} + \frac{2\psi_1 \psi_2 (1 - \bar{r}_{вн}^7)}{7} + \frac{\psi_2^2 (1 - \bar{r}_{вн}^6)}{6} - \frac{\psi_1 (1 - 5\bar{r}_{вн}^6) + 6\bar{r}_{вн}^5 (1 + \psi_1)}{15} + \frac{2\bar{r}_{вн}^2 (4\bar{r}_{вн} + 3) + 1}{12} \right) \quad (2)$$

Мощность, идущая на смешивание воздушно - продуктового слоя на участке 2 равна

$$N_{2сл} = \xi_{сл} \cdot \rho_c \cdot \omega_0^3 \cdot r_a^2 \left(\pi H r_a \cdot \left(\frac{\psi_1^2 \cdot \left(\frac{-9}{r_l} - 1 \right)}{9} + \frac{\psi_1 \cdot \psi_2 \left(\frac{-8}{r_l} - 1 \right)}{4} + \frac{\psi_2 \left(\frac{-7}{r_l} - 1 \right)}{7} + \frac{\psi_1 \cdot \left(\frac{-6}{r_l} - 1 \right)}{3} + \frac{\psi_1^2 \cdot \left(\frac{-6}{r_l} - 1 \right)}{8} + \frac{2\psi_1 \psi_2 \left(\frac{-7}{r_l} - 1 \right)}{7} + \frac{2\psi_2 \left(\frac{-6}{r_l} - 1 \right)}{6} + \frac{2\psi_1 \left(\frac{-5}{r_l} - 1 \right)}{5} + \frac{\psi_2 \left(\frac{-4}{r_l} - 1 \right)}{2} + \frac{\frac{-2}{r_l} - 1}{2} \right) \right) \quad (3)$$

Мощность идущая на смешивание воздушно продуктового слоя

$$N_{3сл} = \xi_{сл} \cdot \rho_c \cdot H \cdot \omega_0^3 \cdot r_a^2 \left(\frac{\psi_1 \cdot \left(\frac{-10}{r_c} - \frac{-10}{r_l} \right)}{10} + \frac{2\psi_1 \cdot \psi_2 \left(\frac{-9}{r_c} - \frac{-9}{r_l} \right)}{9} + \frac{\psi_2 \left(\frac{-8}{r_c} - \frac{-8}{r_l} \right)}{8} + \frac{2\psi_1 \cdot \psi_2 \left(\frac{-7}{r_c} - \frac{-7}{r_l} \right)}{7} + \frac{\psi_2 \left(\frac{-6}{r_c} - \frac{-6}{r_l} \right)}{3} + \frac{\frac{-4}{r_c} - \frac{-4}{r_l}}{4} \right) \quad (4)$$

Мощность N_a определяется с помощью уравнения:

$$N_a = -2\pi \omega_0^2 H r_a^2 (3\psi_1 + 2\psi_2) \quad (5)$$

Окончательно мощность сил трения о стенку рабочей камеры

$$N_c = 2\tau_c \sqrt{\frac{\pi H P_{уз} r_{уз}}{\xi_c \rho_c}} \quad (6)$$

Уравнение для мощности, затрачиваемой на измельчение получим из уравнения (1)

$$N_{из} = N_c + N_{2сл} + N_{3сл} - N_2 - N_a \quad (7)$$

Вывод.

Математическая модель с учетом глубокой криозаморозки полностью отражает основные параметры и характеристики рассматриваемого процесса. Это дает возможность проводить оптимизацию процесса по энергетическим показателям и разрабатывать рекомендации для практического использования на предприятиях по производству кормов и кормовых добавок.

Список литературы

4. Кишкилев С.В., Разработка технологии экструдированных кормов на основе отходов пищевой промышленности с охлаждением двукратно измельчаемого сырья / Кишкилев С.В., Попов В.П., Коротков В.Г., Антимонов С.В. В сборнике: Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры // Материалы Всероссийской научно-методической конференции (с международным участием). 2013. – С. 978-981.

5. Кишкилев С.В., Исследование переработки зернового сырья на технологической линии при применении криогенных технологий / Кишкилев С.В., Тимофеева Д.В., Мартынов Н.Н. В сборнике: Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры // Материалы Всероссийской научно-методической конференции (с международным участием). 2015. – С. 939-947.

6. Коротков, В.Г., Измельчение и охлаждение сырья при получении экструдированных кормов и добавок / В.Г. Коротков, С.В. Кишкилев, С.В. Антимонов, В.П. Попов // Хранение и переработка сельхоз сырья, 2013.- № 3, - С.17-20.

7. Коротков, В.Г., Повышение качества и эффективности переработки зернового сырья с применением криогенных технологий/ В.Г. Коротков, С.В. Кишкилев, Д.С. Кобылкин, // Хранение и переработка сельхоз сырья, 2015.– № 6, - С. 17-21.

8. Кобылкин Д.С., Измельчение под вакуумом в технологии получения экструдированных кормосмесей и добавок / Д.С. Кобылкин, С.В. Антимонов, В.Г. Коротков, Е.В. Ганин // Хранение и переработка сельхозсырья. - 2008. - №6. - С.27-29.