

Раздел 2. Технологии производства и аппаратное оформление новых пищевых продуктов

УДК: 664.726.1

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПНЕВМОСЕПАРАЦИИ ЗЕРНОВОЙ МАССЫ НА КРИВОЛИНЕЙНОЙ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

О.Н. Терехова, Т.Е. Башкатова

В статье изложены теоретические аспекты процесса воздушной сепарации. Представлен процесс моделирования с помощью ПЭВМ криволинейной поверхности, движения материальной точки по этой поверхности и в свободной воздушной среде. Это исследование дает возможность определить оптимальные конструктивные и технологические параметры для создания реальной модели сепаратора.

Ключевые слова: материальная точка, воздушная сепарация, криволинейная поверхность.

В современной экономике применяется принцип полного использования ресурсов и минимизации потерь, для извлечения максимальной прибыли. Особо остро в настоящий момент стоит вопрос экономии энергоресурсов. На предприятиях по хранению и переработке зерна сепарирование, одна из наиболее важных операций, ее используют на всех этапах обработки.

Технология очистки зерна от примесей – это очень трудоемкий и энергоемкий процесс, при этом выделяемые примеси имеют различное происхождение минеральная, металломагнитная, сорная, испорченное зерно и все виды примесей выделить на одной или двух машинах невозможно, поэтому приходится применять целый ряд технологических машин. Все операции с зерном и продуктами его переработки связаны со значительным выделением пыли. Поэтому необходимо производить очистку запыленного воздуха на каждом этапе переработки. То есть необходимо устанавливать пылеотделители и вентиляторы, что также приводит к увеличению затрат. И то насколько эффективно произойдет процесс сепарирования, влияет на качество готовой продукции.

Руководствуясь данными принципами, на кафедре МАПП Алтайского государственного технического университета были проведены исследования в области пневмосепарации с движением воздушного и зернового потоков в одном направлении и разработана модель сепаратора для выделения из зерновой смеси примесей, отличающихся от основной культуры массой, аэродинамическими свойствами, силой трения. Для этого дополнительно в рабочую зону пневмоканала была установлена криволинейная поверхность. Легкие примеси, увлекаемые воздухом, дос-

тигают конца криволинейной поверхности и вылетают из камеры, а остальные частицы отрываются от этой поверхности раньше и выводятся в сборник очищенного материала.

Преимуществами предлагаемого изобретения, по сравнению с применяемыми пневмосепараторами, являются повышение качества очистки зернового материала, уменьшение удельных энергозатрат на процесс пневмосепарации и улучшение санитарно-гигиенических условий труда. Была разработана теоретическая база, итогом чего явилось создание программы для ПЭВМ, позволяющей моделировать процесс пневмосепарации при различных начальных условиях и выявлять оптимальные технологические и конструктивные параметры, на основе которых ведется разработка экспериментальной модели сепаратора.

Для описания движения частиц, как по рабочей поверхности, так и при дальнейшем свободном движении, можно использовать несколько систем координат разного типа. Решение задачи о движении частицы по заданной траектории удобно реализовать в естественных осях координат с ортами касательной и главной нормали к этой траектории. Свободное движение частицы в камере удобно рассматривать в полярной системе координат.

Дифференциальные уравнения движения зерновых частиц по рабочей поверхности.

Рассматривая движение твердой частицы, как материальной точки, по криволинейной направляющей рабочей поверхности, отметим силы действующие на нее.

На частицу действует ее сила тяжести $p = m \cdot g$, нормальная реакция N к поверхно-

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПНЕВМОСЕПАРАЦИИ ЗЕРНОВОЙ МАССЫ НА КРИВОЛИНЕЙНОЙ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

сти, сила трения $F_{mp} = f \cdot N$ с индивидуальным для частицы коэффициентом f и направленная противоположно скорости частицы, а также сила аэродинамического сопротивления F_a , противоположно направленная скорости относительного движения частицы по отношению к воздушному потоку и по величине пропорциональная квадрату этой скорости:

$$\vec{F}_a = k \cdot (\vec{U} - \vec{V}) \cdot |\vec{V} - \vec{U}|, \quad (1)$$

$$k = \frac{m \cdot g}{V_{\text{внт}}^2}, \text{ здесь } m \cdot g - \text{ масса частицы}$$

и ускорение силы тяжести;

$V_{\text{внт}}$ – скорость витания частицы;

\vec{V} – скорость частицы;

\vec{U} – скорость воздуха.

На рисунке 1 показано текущее положение частицы на ее траектории произвольного вида и действующие на частицу силы.

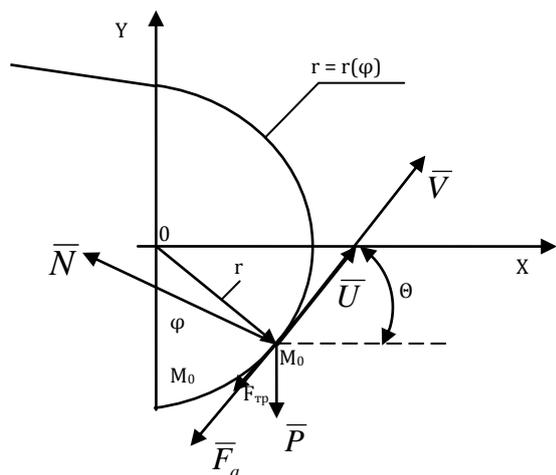


Рисунок 1 – Силы, действующие на частицу при ее движении по заданной линии

Положение частицы определяется в полярной системе координатами r, φ , а в декартовой координатами x, y :

$$x = r \cdot \sin \varphi \quad y = -r \cdot \cos \varphi \quad (2)$$

Начальное положение частицы M_0 при ее вводе, имеет известную угловую координату φ_0 и известную скорость V_0 .

В рассматриваемом случае заданной траектории точки удобно использовать дифференциальные уравнения ее движения в проекциях на касательную и нормальную оси естественной системы координат:

$$N' = \frac{N}{m} = g \cdot \cos \Theta + \frac{V_0^2}{\rho} \quad (3)$$

$$a_\tau = \frac{dV}{dt} = -g \cdot \sin \Theta - f \cdot N' - k \cdot (\vec{U} - \vec{V}) \cdot |\vec{V} - \vec{U}|, \quad (4)$$

Здесь $a_\tau = \frac{dV}{dt}$ – касательное ускорение

частицы;

V – искомая скорость, ρ – радиус кривизны траектории;

U_m – скорость воздуха у поверхности;

Θ – угол.

Получить решение этих уравнений можно только численным методом с помощью ЭВМ. Применим стандартный метод решения таких уравнений, рассматривая малое перемещение dS частицы за малый промежуток времени Δt .

Все пройденное частицей расстояние от места ввода M_0 получим, складывая величины ΔS .

Повторяя эту процедуру и полагая конечные значения параметров для данного шага времени, в качестве начальных для следующего шага времени, получим положение частицы и ее скорость через малые промежутки времени Δt . Тем самым определим движение частицы по данной траектории. При этом потребуются найти как полярные координаты r, φ частицы, так и декартовы координаты x, y .

Движение частицы по рабочей поверхности будет продолжаться, пока нормальная реакция положительна ($N > 0$). Как только будет $N \leq 0$, частица покинет эту поверхность и далее, будет совершать свободное движение в вертикальной плоскости из известного начального положения и с известной начальной скоростью \vec{V}_0 .

Дифференциальные уравнения свободного движения частицы.

В этом случае применяются уравнения динамики материальной точки в полярных координатах r, φ :

$$\ddot{r} = r \cdot \dot{\varphi}^2 + g \cdot \cos \varphi - k \cdot V_r^{omn} \cdot |V_{omn}|, \quad (5)$$

$$\ddot{\varphi} = \frac{1}{r} \cdot (2 \cdot \dot{r} \cdot \dot{\varphi} - g \cdot \sin \varphi - k \cdot V_\varphi^{omn} \cdot |V_{omn}|)$$

Численное решение дифференциальных уравнений (5) производится аналогично предыдущему случаю. Определив соответствующие элементарные перемещения $\Delta r, \Delta \varphi$

за время Δt и конечные скорости $\dot{r}, \dot{\varphi}$: В конце такого перемещения получим новое положение частицы с координатами r, φ и скорость $V(V_r, V_\varphi)$ в этом положении:

$$r = r_0 + \Delta r, \quad \varphi = \varphi_0 + \Delta \varphi, \quad (6)$$

$$V_r = \dot{r}, \quad V_\varphi = r \cdot \dot{\varphi}. \quad (7)$$

Декартовы координаты этого положения частицы, находятся по формулам:

$$x = r \cdot \sin \varphi, \quad (8)$$

$$y = -r \cdot \cos \varphi$$

Ряд положений частицы с координатами x, y позволяет построить траекторию частицы при свободном движении. Имея траектории различных частиц зерновой смеси, можно судить об эффективности ее разделения.

Изложенный материал позволяет создать программу для ПЭВМ и теоретически исследовать сепарацию, подобрать оптимальные скорости зерновой смеси и воздушной струи при их вводе в сепаратор, а так же место ввода.

Криволинейная поверхность состоит из двух частей (рисунок 2). Первая часть представляет собой дугу окружности (1), а вторая часть – параболы (2).

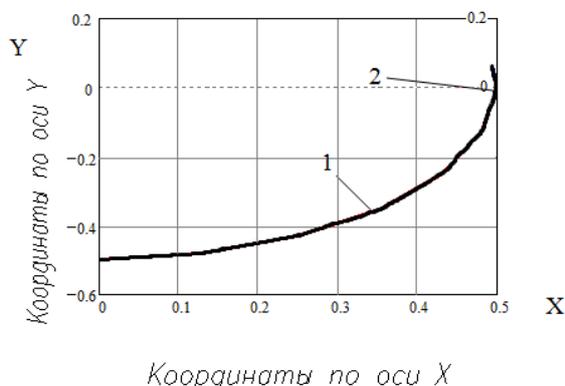


Рисунок 2 – Криволинейная поверхность пневмосепаратора

Все расчёты ведутся относительно угла расположения частицы. В дальнейшем будет вычисляться перемещение частицы за время Δt при каждом изменении угла. Величину Δt нельзя принять как постоянную, так как частица, проходя определённое расстояние по криволинейной поверхности, будет затрачивать на это разное время. Проведя многочисленные расчёты, и, зная условие о том, что скорость частицы будет уменьшаться с увеличением угла, можно предположить, что время прохождения будет изменяться по

ветви параболы. Приняв $\Delta t = 0,15c$ при $\varphi = 0^0$, можно построить зависимость $\Delta t(\varphi)$ (рисунок 3).

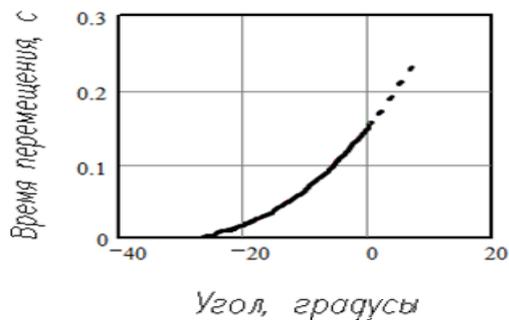
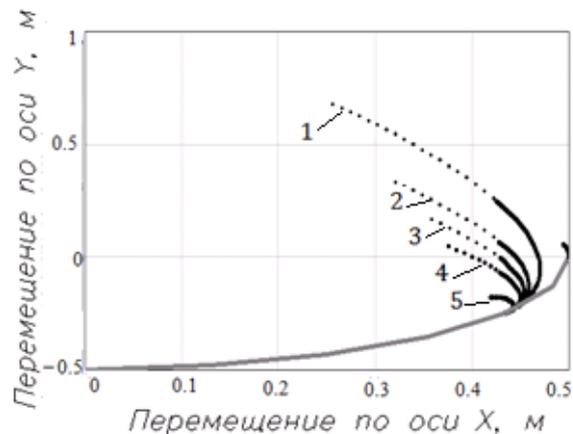


Рисунок 3 – График зависимости времени перемещения от изменения угла

Проведем анализ движения материальной частицы в рабочей камере. Данная методика сравнительно проста и позволяет построить траектории различных частиц.

Рассмотрев движение твердой частицы (зерновки, части оболочки и т.п.), как материальной точки по рабочей поверхности построены графики их траекторий.



- 1 - Легкая примесь
- 2 - Зерновой материал $V_{вум} = 7 \frac{м}{с}$.
- 3 - Зерновой материал $V_{вум} = 6 \frac{м}{с}$.
- 4 - Зерновой материал $V_{вум} = 8 \frac{м}{с}$.
- 5 – Минеральная примесь.

Рисунок 4 – График движения частицы по криволинейной поверхности при $V_B = 9 \frac{м}{с}$

Начальными условиями для решения дифференциальных уравнений будут: начальная скорость частицы $V_H = 0.35 \frac{м}{с}$; ра-

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПНЕВМОСЕПАРАЦИИ ЗЕРНОВОЙ МАССЫ НА КРИВОЛИНЕЙНОЙ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

диус кривизны поверхности $R = 0.5\text{ м}$, скорость воздуха $V_{\theta} = 9\text{ м/с}$ (рисунок 4).

Частицы с наибольшей скоростью вращения будут тормозиться, не продолжая движение дальше. И для дальнейшего разделения необходимо увеличивать скорость воздушного потока $V_{\theta} = 12\text{ м/с}$ (рисунок 5).

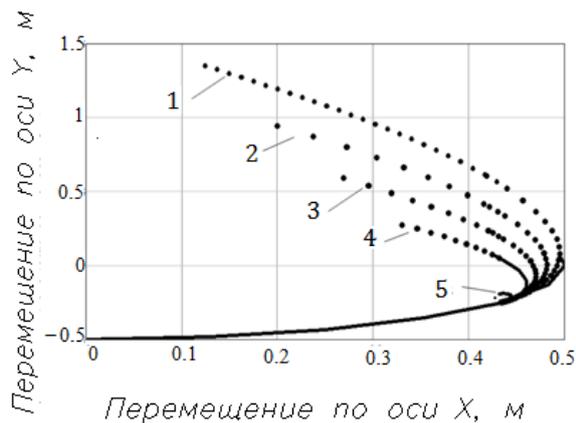


Рисунок 5 – График движения частицы по криволинейной поверхности при $V_{\theta} = 12\text{ м/с}$

Полученные графики движения частиц по криволинейной поверхности показали, что чем меньше сила трения частицы о поверхность, тем по большему радиусу кривизны она будет перемещаться.

Из графиков видно, что минеральные примеси, имеющие наибольшую массу и коэффициент трения, при попадании на рабочую поверхность будут тормозиться под действием силы трения, а когда их скорость будет равной нулю, они под действием силы тяжести попадут в сборник для минеральной примеси. Зерновки, по сравнению с мине-

ральной примесью пройдут больший путь, а затем под действием силы тяжести и коэффициента трения выпадут в выпускной конус.

Легкая примесь перемещается по вынужденной траектории в осадочную камеру для легкой примеси.

Такой подход позволяет моделировать процесс воздушной сепарации при различных начальных условиях и выявлять оптимальные технологические и конструктивные параметры. На основании теории о движении зерновок по криволинейной поверхности была создана модель пневмосепаратора с криволинейной поверхностью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зайцев, В.П. Основы САПР. Математическое моделирование объектов проектирования. Моделирование процесса пневмосепарации: учебное пособие / В.П. Зайцев, М.А. Седешев, В.Л. Злочевский; Алт. гос. техн. ун-т им. И. И. Ползунова. – Барнаул, 1999.
2. Злочевский, В.Л. Повышение технологической эффективности пневмофракционирования зерновых масс / В.Л. Злочевский, О.Н. Терехова // Хранение и переработка зерна. – 2004. – №5.
3. Современные проблемы техники и технологии пищевых производств: сборник докладов восьмой научно-практической конференции с международным участием (15-16 декабря 2005 г.). Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова – Барнаул; 2005 г.

Терехова О.Н. к.т.н., профессор кафедры МАПП АлтГТУ им. И.И. Ползунова, тел. 8(3852) 24-55-19.

Башкатова Т.Е. аспирант кафедры МАПП АлтГТУ им. И.И. Ползунова, тел. 8(3852) 36-75-91.