

УДК 621.928.6

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки, сельскохозяйственные науки)

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕПАРАЦИОННОГО УСТРОЙСТВА КВАДРАТНОЙ ФОРМЫ ПРИ УЛАВЛИВАНИИ ЧАСТИЦ ПИЩЕВОЙ ПЫЛИ

Шаймухаметова Альбина Шамилевна
ассистент
SPIN – код автора: 9252-4387
Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

Лушнов Максим Александрович
Канд. техн. наук
SPIN – код автора: 9391-6897
Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия

Чернова Олеся Станиславовна
студент
Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

В современных производственных условиях пищевой промышленности значительное внимание уделяется не только качеству продукции, но и экологическим аспектам производства, в частности, контролю за выбросом мелкодисперсной пищевой пыли. В работе предложена конструкция сепарационного устройства квадратной формы. Описан механизм улавливания частиц. Целью работы является оценка эффективности сепарационного устройства при сепарации мелкодисперсных частиц пищевой пыли из газа. На основе теоретических расчетов получена формула для расчета эффективности сепарационного устройства, зависящая от параметров улавливаемых частиц, конструктивных и технологических параметров. В работе показано, что устройство обеспечивает эффективность улавливания частиц пыли в среднем равную 77,2%. Увеличение ширины стаканов устройства приводит к снижению эффективности улавливания частиц. Ее увеличение с 0,2 до 0,5 приводит к уменьшению эффективности на 27,2 %. При повышении плотности частиц с 1500 до 4500 кг/м³, наблюдается увеличение средней эффективности на 11,4%. Данное исследование подчеркивает потенциал применения предлагаемых сепарационных устройств для повышения экологической безопасности и снижения воздействия на окружающую среду на производствах пищевой индустрии

UDC 621.928.6

4.3.1. Technologies, machinery and equipment for the agro-industrial complex (technical sciences, agricultural sciences)

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF A SQUARE-SHAPED SEPARATION DEVICE IN CAPTURING FOOD DUST PARTICLES

Shaimukhametova Albina Shamilevna
Assistant lecturer
RSCI SPIN-code: 9252-4387
Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

Lushnov Maksim Aleksandrovich
Cand.Tech.Sci.
RSCI SPIN-code: 9391-6897
Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia

Chernova Olesia Stanislavovna
Student
Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

In contemporary manufacturing conditions of the food industry, significant attention is not only given to product quality but also to the environmental aspects of production, particularly the control of emissions of fine food dust particles. This work proposes a design for a square-shaped separation device and describes the particle capturing mechanism. The aim of this study is to evaluate the effectiveness of the separation device in capturing fine food dust particles from gas. Based on theoretical calculations, a formula was derived to calculate the efficiency of the separation device, which depends on the parameters of the captured particles, as well as the design and technological parameters. The study shows that the device provides an average particle capturing efficiency of 77.2%. An increase in the width of the device's chambers leads to a decrease in particle capturing efficiency. When the width is increased from 0.2 to 0.5 meters, the efficiency decreases by an average of 27.2%. Conversely, an increase in particle density from 1500 to 4500 kg/m³ results in an average efficiency increase of 11.4%. This research highlights the potential of the proposed separation devices to enhance environmental safety and reduce the impact on the environment in the food industry production settings

Ключевые слова: СЕПАРАТОР, СЕПАРАЦИОННОЕ УСТРОЙСТВО, ПИЩЕВАЯ ПЫЛЬ, ПИЩЕВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ, ЦЕНТРОБЕЖНАЯ СИЛА, МУЛЬТИВИХРЕВАЯ СИСТЕМА, МЕЛКИЕ ЧАСТИЦЫ

Keywords: SEPARATOR, SEPARATION DEVICE, FOOD DUST, FOOD INDUSTRY, CENTRIFUGAL FORCE, MULTI-VORTEX SYSTEM, FINE PARTICLES

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-201-033>

Введение. В производственных циклах пищевой индустрии особое внимание уделяется не только обеспечению высоких стандартов качества и безопасности продукции, но также строгому выполнению экологических норм. Оно включает контроль за эмиссией вредных частиц в атмосферу, что является не только вопросом соблюдения законодательства, но и мерой поддержания здоровья работников и минимизации воздействия на окружающую среду. Особенно актуален вопрос улавливания мелкодисперсной пищевой пыли, которая может значительно ухудшить качество воздуха как внутри производственных помещений, так и в прилегающих территориях.

Состояние исследований и актуальность проблемы. Исследования в области сепарации пыли сконцентрированы на различных аспектах, включая улучшение физических и химических методов очистки, улучшении конструкции устройств и повышение их энергоэффективности. Применение циклонов и фильтров являются широко распространенными, но не всегда эффективными способами при работе с мелкодисперсными частицами.

Одним из актуальных направлений является создание высоких центробежных сил при относительно невысоких скоростях газа на входе в сепарационное устройства. В работе [1] предлагается устройство с сепарационными элементами. При течении газа образуется волнообразное течение. Учитывая, что радиус поворота газа маленький, то создаются высокие центробежные силы.

<http://ej.kubagro.ru/2024/07/pdf/33.pdf>

Для интенсификации очистки газовых потоков от мелких твердых частиц предлагается конструкция сепарационного устройства квадратной формы (рис. 1). Особенностью конструкции является возникновение множества вихрей небольшого радиуса. Ввиду этого при невысоких входных скоростях газопылевого потока создаются высокие центробежные силы, которых достаточно для сепарации мелких частиц из него. Сепарационное устройство может быть оснащено множеством стаканов 2. Мультивихревая структура возникает между ними. Мультивихревая структура возникает между ними.

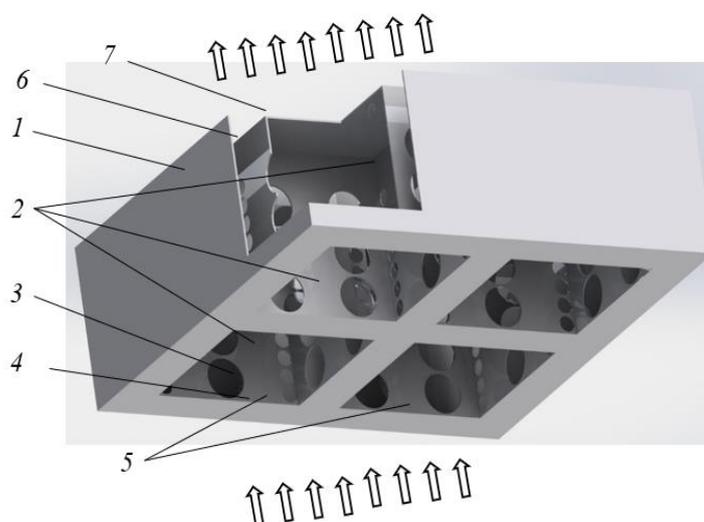


Рисунок 1 – Модель сепаратора: 1 – корпус; 2 – стаканы; 3, 4 – отверстия; 5 – вход в стаканы; 6 – зона вихреобразования; 7 – выход

Процесс очистки газа от мелких твердых частиц работает следующим образом. Воздух с частицами пищевой пыли поступает в сепаратор (рис. 1) через стаканы 5, после чего распределяется по круглым отверстиям 3 и 4. При прохождении через них, газ попадает в каналы, размещенные между стаканами 5. В них формируется множество вихрей, в результате чего возникают центробежные силы. При действии которых на частицы, они отлетают к внутренним стенкам 1 и прилипают к ним. Через определенные промежутки времени стенки устройства очищаются механическим способом. Очищенный газ выходит через отверстия 7 (рис. 1).

Цель исследований. Целью исследования является оценить эффективность сепарации пищевой пыли из воздуха в сепараторе квадратной формы.

Материалы и методы исследований. Процесс сепарации мелкодисперсных частиц в сепарационном устройстве (рис. 1) основывается на анализе их поведения в динамическом газовом потоке. Для успешной сепарации необходимо, чтобы в процессе вихреобразования частицы достигали периферии вихря, что приводит к их контакту с внутренней стенкой устройства. Предполагается, что перемещение частиц, как в радиальном, так и в осевом направлениях, происходит по законам равномерного движения. Основываясь на вышеописанной логике, в расчетах принимается равенство между центробежной силой и силой аэродинамического сопротивления, что математически выражается как $F_c = F_a$. Это соотношение позволяет учесть взаимодействие частиц с вихревым потоком и определить условия, при которых сепарация становится максимально эффективной. Центробежная сила и сила аэродинамического сопротивления может быть определена по формуле (1) и (2) соответственно.

$$F_c = \rho_a \frac{\pi a^3 W_m^2}{6 r}, \quad (1)$$

где a – диаметр пыли, м; W_m – скорость воздуха при выходе из отверстий, м/с; r – радиус вихря, м.

$$F_a = 3\pi\mu_G a U_r. \quad (2)$$

где μ_G – вязкость воздуха, Па·с; U_r – радиальная скорость частиц, м/с; ρ_a – плотность пыли, кг/м³.

Исходя из равенства центробежной силы (1) и силы аэродинамического сопротивления (2), можно получить выражение (3). Стоит отметить, что вихри формируются между плоскими стенками

сепарационных элементов, тогда радиусы вихрей определяются, как $b/8$, где b – это ширина стаканов 2 (рис. 1).

$$U_r = \frac{4 \rho_a W_m^2 a^2}{9 \mu_G b}. \quad (3)$$

На основе выше представленных формул и ранее полученных зависимостей между конструктивными и технологическими параметрами может быть получена формула, позволяющая рассчитать эффективность сепарационного устройства (4):

$$E = \frac{8 a}{3 Ab} \sqrt{\frac{z \rho_a W_{bx}}{\mu_G}} \left(1 - \frac{2 a}{3 Ab} \sqrt{\frac{z \rho_a W_{bx}}{\mu_G}} \right) \text{ при } a < a_{cr}, \quad (4)$$

где A – отношение площади входа в стакан к площади круглых отверстий; W_{bx} – скорость входа в стаканы, м/с; z – высота сепарационной зоны, м.

При этом критический размер частиц a_{cr} рассчитывается по выражению (5):

$$a_{cr} = \frac{3}{4} Ab \sqrt{\frac{\mu_G}{z \rho_a W_{bx}}}. \quad (5)$$

В случае, если $a > a_{cr}$, то $E = 1$.

Результаты исследований. В ходе расчетов по полученным формулам (4) и (5) было установлено, что сепарационное устройство квадратной формы позволяет с высокой эффективностью улавливать пищевую пыль, размер которой составляет до 10 мкм. В среднем она составляет 77,2 %. На эффективность улавливания пищевой пыли влияет как конструктивные параметры устройства, так и параметры частиц. При уменьшении ширины стаканов b эффективность устройства возрастает, т. к. количество круглых отверстий 3, 4 (рис. 1) также уменьшается, следовательно, при неизменной скорости газа W_{bx} скорость газового потока на выходе из данных отверстий увеличивается, что приводит к увеличению центробежной силы при вращении вихре в каналах (рис. 2).

При увеличении плотности частиц эффективность устройства возрастает, т. к. они легче выбиваются из структурированного потока (рис. 3).

Эффективность сепарационного устройства квадратной формы в среднем составляет 85,3, 76,1, 67,1 и 58,1 % при ширине стаканов 0,2, 0,3, 0,4 и 0,5 м соответственно. Можно отметить, что эффективность устройства близка к 100 % при улавливании частиц размером более 4 мкм ($b = 0,2$ м), 6 мкм ($b = 0,3$ м), 8 мкм ($b = 0,4$ м) и 10 мкм ($b = 0,5$ м) (рис. 2).

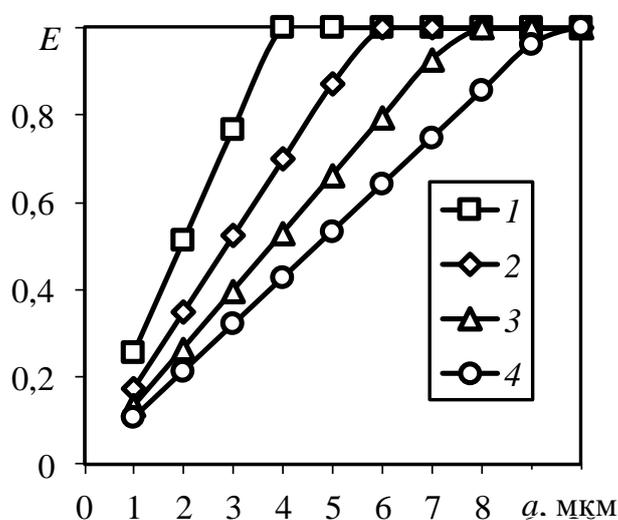


Рисунок 2 – Фракционная эффективность сепарационного устройства от размера частица при различной ширине стаканов b , м: 1 – 0,2; 2 – 0,3; 3 – 0,4; 4 – 0,5. Параметры расчета: $A = 0,25$; $z = 0,3$ м; $\rho_a = 1500$ кг/м³; $W_{bx} = 1$ м/с

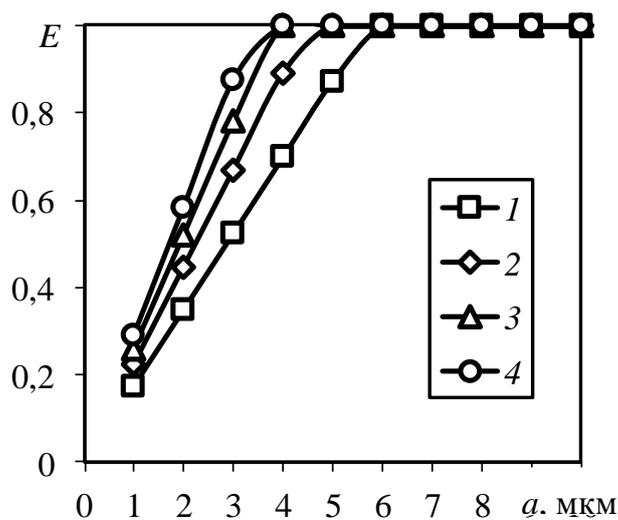


Рисунок 3 – Фракционная эффективность сепарационного устройства от размера частица при их различной плотности ρ_a , кг/м³: 1 – 1500; 2 – 2500; 3 – 3500; 4 – 4500. Параметры расчета: $A = 0,25$; $z = 0,3$ м; $b = 0,3$ м; $W_{bx} = 1$ м/с

Эффективность устройства в среднем составляет 76,1, 82,2, 85,5 и 87,5 % при плотности мелкодисперсных частиц пищевой пыли 1500, 2500, 3500 и 4500 кг/м³ соответственно. При этом эффективность устройства близка к 100 % при улавливании частиц размером более 6 мкм (рис. 3). Сравнение полученных результатов на рисунках 2 и 3 показывает, что изменение конструктивного параметра b влияет на эффективность сепарации частиц из газа наиболее значимо, чем варьирование плотности частиц ρ_a .

Выводы. 1. Получена формула, которая позволяет оценить эффективность сепарации частиц пищевой пыли из запыленного воздуха в сепараторе квадратной формы, зависящая от параметров мелких частиц и геометрических размеров устройства. 2. Средняя эффективность квадратного сепарационного устройства составляет 77,2% для частиц размером от 1 до 10 мкм. 3. Увеличение ширины стаканов устройства от 0,2 до 0,5 м приводит к уменьшению эффективности улавливания частиц на 27,2%. 4. Повышение плотности частиц с 1500 до 4500 кг/м³ увеличивает среднюю эффективность на 11,4%.

Библиографический список

1. Салахова, Э. И. Очистка газа пылеулавливающим устройством с дугообразными элементами / Э. И. Салахова, В. Э. Зинуров, А. В. Дмитриев, О. С. Дмитриева, А. А. Абдуллина // Экология и промышленность России. - 2024. - Т. 28, № 2. - С. 12-18. DOI: 10.18412/1816-0395-2024-2-12-18.

References

1. Salakhova, E I Ochistka gaza pyleulavlivaiushchim ustroistvom s dugoobraznymi elementami / E. I. Salakhova, V. E. Zinurov, A. V. Dmitriev, O. S. Dmitrieva, A. A. Abdullina // Ekologiya i promyshlennost Rossii. - 2024. - V. 28, № 2. - Pp. 12-18. DOI: 10.18412/1816-0395-2024-2-12-18.