

УДК 621.928.6

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

УЛАВЛИВАНИЕ ЧАСТИЦ ПИЩЕВОЙ ПЫЛИ В СЕПАРАТОРЕ С СЕКЦИЯМИ ДВОЙНЫХ Т-ОБРАЗНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Шарипов Ильнар Ильдарович
Канд. техн. наук
SPIN – код автора: 8046-8265
Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

Калимуллина Ильза Ильнаровна
Студент
Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

Гарипов Мансур Гильманович
Канд. техн. наук, доцент
Нижнекамский химико-технологический институт (филиал) Казанского национального исследовательского технологического университета, Нижнекамск, Россия

В агропромышленном комплексе улавливание пыли и мелкодисперсных частиц является важной задачей для обеспечения экологической безопасности и поддержания работоспособности оборудования. Повышение требований к очистке воздуха и минимизации выбросов стимулирует разработку новых технологий сепарации частиц. Традиционные циклонные сепараторы, хотя и демонстрируют высокую эффективность для крупных частиц, имеют недостатки при работе с частицами размером менее 10–20 микрон. В статье представлена разработка и исследование сепаратора с секциями двойных Т-образных элементов, предназначенного для эффективного улавливания мелкодисперсных частиц, образующихся в процессе переработки сырья в агропромышленном комплексе. Сепаратор с секциями двойных Т-образных элементов включает цилиндрический корпус, входную и выходную трубы, сепарационные элементы и бункер. Отделение частиц от газа осуществляется за счет действия на них инерционных сил. В ходе численных исследований установлено, что при значениях Stk более 60 эффективность сепаратора составляет близкой 100%. В среднем эффективность сепаратора составляет около 0,8. Сепаратор сочетает в себе высокую эффективность очистки и простоту эксплуатации, обеспечивая значительное улучшение характеристик по сравнению с традиционными циклонами

UDC 621.928.6

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

CAPTURING FOOD DUST PARTICLES IN A SEPARATOR WITH DOUBLE T-SHAPED SECTIONS

Sharipov Inar Ildarovich
Cand.Tech.Sci.
RSCI SPIN-code: 8046-8265
Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

Kalimullina Ilza Inarovna
Student
Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

Garipov Mansur Gilmanovich
Cand.Tech.Sci., Associate Professor
Nizhnekamsk Institute of Chemical Technology (Branch) of Kazan National Research Technological University, Nizhnekamsk, Russia

In the agro-industrial sector, capturing dust and fine particulate matter is a crucial task for ensuring environmental safety and maintaining equipment functionality. Increasing demands for air purification and emission reduction are driving the development of new particle separation technologies. Traditional cyclone separators, while highly effective for large particles, have limitations when handling particles smaller than 10–20 micrometers. This article presents the development and study of a separator with double T-shaped sections, designed for the efficient capture of fine particles generated during raw material processing in the agro-industrial sector. The separator with double T-shaped sections includes a cylindrical body, inlet and outlet pipes, separation elements, and a dust collection bin. Particle separation from the gas occurs due to the action of inertial forces. Numerical studies have shown that when the Stokes number (Stk) exceeds 60, the separator's efficiency approaches 100%. On average, the separator's efficiency is approximately 0.8. The separator combines high cleaning efficiency with ease of operation, providing a significant improvement in performance compared to traditional cyclones

Ключевые слова: СЕПАРАТОР, МЕЛКОДИСПЕРСНЫЕ ЧАСТИЦЫ, АГРОПРОМЫШЛЕННЫЙ КОМПЛЕКС, ДВОЙНЫЕ Т-ОБРАЗНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ, УЛАВЛИВАНИЕ ПЫЛИ, ЦИКЛОННЫЕ СЕПАРАТОРЫ, ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Keywords: SEPARATOR, FINE PARTICLES, AGRO-INDUSTRIAL SECTOR, DOUBLE T-SHAPED SECTIONS, DUST CAPTURE, CYCLONE SEPARATORS, NUMERICAL MODELING

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-202-035>

Введение. Современные агропромышленные предприятия сталкиваются с множеством вызовов, среди которых одной из приоритетных задач является поддержание экологической безопасности и обеспечение устойчивости производственных процессов. В процессе переработки сельскохозяйственного сырья и работы технологического оборудования образуются мелкодисперсные частицы, которые могут загрязнять воздух в производственных помещениях, снижать качество продукции и оказывать негативное воздействие на оборудование. Это делает задачу эффективного улавливания пылевых частиц критически важной для обеспечения чистоты воздуха и долговечности оборудования.

Одним из наиболее эффективных методов сепарации частиц на сегодняшний день являются циклонные сепараторы. Эти устройства, использующие инерционные и центробежные силы для отделения твердых частиц от газовых потоков, широко применяются в агропромышленном комплексе благодаря своей простоте и надежности. Однако циклоны, обладая высокой эффективностью при работе с крупными и средними частицами, не всегда способны справиться с улавливанием мелкодисперсных частиц размером менее 10-20 микрон. Это ограничивает их использование в производственных процессах с высокими требованиями к очистке воздуха.

Усиление экологических требований и повышение стандартов безопасности требуют разработки новых технологий и подходов к улавливанию мелкодисперсных частиц. Существующие технологии, такие как комбинированные системы пылеуловителей, часто сталкиваются с

<http://ej.kubagro.ru/2024/08/pdf/35.pdf>

проблемой быстрого засорения фильтрующих элементов, что приводит к увеличению энергозатрат и снижению эффективности очистки. В связи с этим актуальной становится задача поиска новых решений, которые позволят повысить эффективность очистки воздуха при минимальных потерях давления и энергозатратах, а также продлить срок службы оборудования.

Состояние исследований и актуальность проблемы.

Многочисленные исследования и разработки направлены на совершенствование технологий пылеудаления. Одной из тенденций последних лет стало использование комбинированных подходов, при которых центробежные и инерционные методы сочетаются с фильтрацией и использованием специальных конструктивных элементов, создающих дополнительные условия для улавливания мелких частиц. Например, применение модифицированных конструкций сепараторов, включающих элементы, способствующие агломерации мелких частиц, значительно повышает эффективность их улавливания.

Эффективность таких комбинированных систем подтверждена в ряде экспериментов и численных исследований. Одним из важных факторов, влияющих на эффективность улавливания мелкодисперсных частиц, является оптимизация геометрии сепарационных элементов и улучшение аэродинамических характеристик внутри устройств. Например, применение двойных Т-образных элементов позволяет создать дополнительные вихревые потоки, которые способствуют усилению центробежных сил и более эффективному улавливанию частиц размером менее 10-20 микрон [1]. При этом такая конструкция также способствует снижению потерь давления, что делает её привлекательной для использования в условиях агропромышленных предприятий с высокой степенью запыленности.

Несмотря на существующие успехи в этой области, остаётся ряд вызовов. Необходимо дальнейшее исследование для совершенствования конструкций, способных работать в условиях высоких скоростей газового потока и различных характеристик пыли. Разработка технологий, которые смогут адаптироваться к меняющимся условиям работы, обеспечивая стабильную эффективность улавливания мелкодисперсных частиц, остаётся актуальной задачей для многих отраслей, включая агропромышленный комплекс.

Для интенсификации очистки газовых потоков от мелких пылевых частиц предлагается сепаратор с секциями двойных Т-образных элементов (рис. 1).

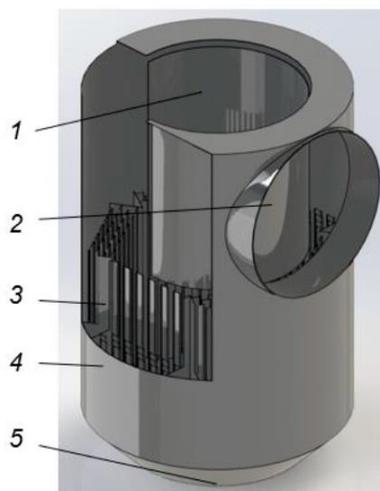


Рисунок 1 – Сепаратор с секциями двойных Т-образных элементов: 1, 2 – входная труба и выходная труба соответственно; 3 – секции сепарационных элементов, расположенных осесимметрично; 4 – обечайка; 5 – бункер

Текущая газовая среда, содержащая частицы пыли, входит в устройство сверху вниз. Далее распределяется по пространству между Т-образными элементами (рис. 1). Частицы отлетают из запыленного потока к стенкам за счет действия на них инерционных сил. Более мелкие частицы, которые трудно уловить в традиционных циклонах, эффективно улавливаются в этом аппарате благодаря агломерации в секциях Т-

образных элементов, где они увеличиваются в размере, что облегчает их последующее осаждение.

Цель исследований. Численное моделирование очистки запыленного потока в сепараторе с секциями двойных Т-образных элементов.

Материалы и методы исследований. Для проведения исследований эффективности сепаратора с секциями двойных Т-образных элементов было использовано численное моделирование процессов очистки запыленных газовых потоков. В качестве основного инструмента моделирования использовался программный пакет ANSYS Fluent, позволяющий проводить анализ гидродинамических характеристик устройства и моделировать движение газовых потоков с различными характеристиками.

Для описания движения частиц использовался метод Лагранжа, который отслеживает траектории частиц, движущихся в газовом потоке.

Моделирование включало создание трёхмерной модели сепаратора с учетом всех его конструктивных элементов: цилиндрического корпуса, секций Т-образных элементов, входной и выходной труб, а также пылесборника. Размер частиц варьировался от 5 до 20 мкм для моделирования широкого диапазона пылевых загрязнителей, характерных для агропромышленного комплекса.

Для улучшения точности моделирования были заданы граничные условия для разных областей устройства. Входной поток газа имел скорости от 3 до 15 м/с, что позволяет моделировать различные сценарии реальной эксплуатации.

Для оценки эффективности устройства использовался коэффициент очистки E , который рассчитывался как доля частиц, улавливаемых сепаратором (1).

$$E = 1 - \frac{n_y}{n}, \quad (1)$$

где n_y – уловленные частицы, шт.; n – общее количество, шт.

Моделирование выполнялось при различных условиях, чтобы оценить влияние параметров, таких как скорость газового потока, плотность и размер частиц d , на эффективность улавливания. Был проведён анализ зависимости эффективности улавливания от числа Стокса Stk , которое характеризует динамическое поведение частиц в газовом потоке в зависимости от их размеров и скорости. Число Стокса Stk рассчитывалось по выражению (2).

$$Stk = \frac{\rho d^2 W}{x \mu}, \quad (2)$$

где x – характерный размер, м; μ – динамическая вязкость, Па·с.

Результаты исследований. Численное моделирование процессов очистки газового потока в сепараторе с секциями двойных Т-образных элементов позволило выявить ключевые закономерности, влияющие на эффективность улавливания частиц различных размеров. Полученные данные представлены на рисунках 2 и 3, демонстрирующих зависимость эффективности очистки от числа Стокса и размера частиц при различных плотностях.

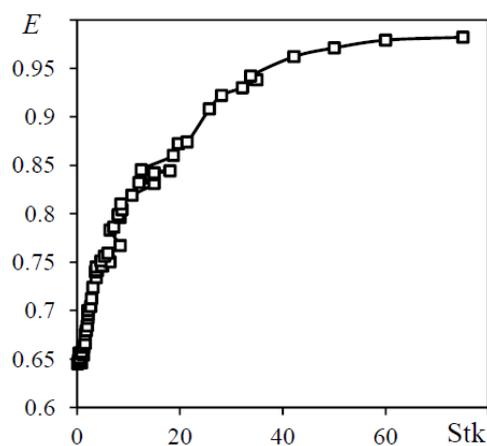


Рисунок 2 – Зависимость эффективности сепаратора с секциями двойных Т-образных элементов от числа Стокса

На основе результатов численного моделирования было установлено, что предлагаемый сепаратор позволяет улавливать частицы размером менее 20 мкм с эффективностью не менее 0,64. При это наивысшая эффективность составляет 0,98. Средняя эффективность устройства по очистке от частиц указанных размеров при плотностях от 1000 до 7000 кг/м³ достигает 81,2%. Данный результат значительно превосходит показатели традиционных циклонных сепараторов, особенно в контексте улавливания мелкодисперсных частиц, которые, как правило, наиболее сложны для очистки.

Увеличение числа Стокса способствует значительному росту эффективности, что связано с улучшением условий для осаждения частиц под действием центробежных сил. При значениях числа Стокса выше 56,2 наблюдается пиковая эффективность очистки, достигающая 94% (рис. 2).

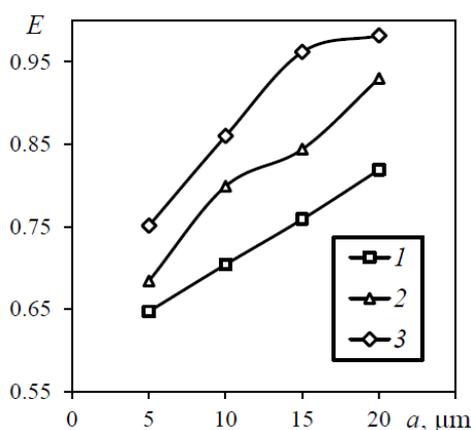


Рисунок 3 – Эффективность устройства с Т-образными элементами от диаметра пылевых частиц и их разной плотности, кг/м³: 1 – 1000; 2 – 3000; 3 – 7000

При плотности частиц 7000 кг/м³ сепаратор улавливает до 88 % частиц размером менее 10 мкм, что свидетельствует о высокой эффективности агрегата даже при работе с наиболее трудными для улавливания загрязнителями (рис. 3).

Таким образом, оснащённый секциями двойных Т-образных элементов, демонстрирует высокую эффективность в процессе улавливания пылевых частиц. Результаты численного моделирования показали, что данное устройство успешно справляется с улавливанием мелких частиц, одновременно поддерживая низкий уровень потерь давления в системе, которые не превышают 1 кПа. Это позволяет использовать сепаратор в условиях интенсивного пылеобразования без значительного увеличения энергозатрат, что критически важно для промышленных предприятий, работающих с высокими объёмами газовых потоков.

Выводы. 1. Сепаратор сочетает в себе высокую эффективность очистки и простоту эксплуатации, обеспечивая значительное улучшение характеристик по сравнению с традиционными циклонами. 2. Эффективность устройства в среднем составляет более 0,8. 3. При увеличении числа Стокса происходит рост эффективности очистки. При значениях Stk более 60 эффективность сепаратора составляет близкой 100 %. 4. Важным аспектом является универсальность предложенной конструкции. Сепаратор с секциями двойных Т-образных элементов можно адаптировать для различных типов загрязнений, варьируя конструктивные параметры устройства. Это делает его подходящим решением для использования в разных отраслях промышленности, где требуется высокая степень очистки воздуха и минимальные эксплуатационные расходы.

Библиографический список

1. Зинуров, В. Э. Повышение эффективности аспирационных систем при обработке крахмалистого сырья / В. Э. Зинуров, А. В. Дмитриев, Р. Р. Мубаракшина // Ползуновский вестник. – 2020. - № 2. – С. 18-22.

References

1. Zinurov, V. Je. Povyshenie jeffektivnosti aspiracionnyh sistem pri obrabotke krahmalistogo syr'ja / V. Je. Zinurov, A. V. Dmitriev, R. R. Mubarakshina // Polzunovskij vestnik. – 2020. - № 2. – S. 18-22.