

УДК 621.928.6

UDC 621.928.6

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

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

ОЦЕНКА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ СЕПАРАЦИОННОГО МОДУЛЯ С ДВУТАВРОВЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

EVALUATION OF HYDRAULIC RESISTANCE OF A SEPARATION MODULE WITH I-BEAM ELEMENTS

Шуктомова Алина Григорьевна
Студент
Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

Shuktomova Alina Grigoryevna
Student
Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

Гумерова Гузель Хайдаровна
Канд. техн. Наук, доцент
SPIN – код автора: 5237-5977
Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

Gumerova Guzel Khaydarovna
Cand.Tech.Sci., Associate Professor
RSCI SPIN-code: 5237-5977
Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

Гатина Гузель Хайдаровна
Ассистент
Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

Gatina Guzel Khaydarovna
Assistant
Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

В статье представлены результаты численного исследования работы сепарационного модуля, предназначенного для предварительной очистки запылённых газовых потоков. Основное внимание уделено анализу влияния расстояния между рядами элементов сепаратора на коэффициент гидравлического сопротивления. Для исследования была разработана трёхмерная компьютерная модель устройства, в которой ряды элементов формировали сложную траекторию потока, способствующую отделению частиц за счёт действия центробежных и инерционных сил. Входная скорость газового потока варьировалась от 3 до 10 м/с, а расстояния между рядами элементов принимались равными $0,75l$, l и $1,25l$, где l – базовое расстояние, рассчитанное на основе геометрии устройства. В ходе моделирования было установлено, что при увеличении значения l на 25 % от базового значения коэффициент гидравлического сопротивления возрастает до 30. Увеличение расстояния снижает сопротивление до 14–15. Оптимальным оказалось базовое расстояние, обеспечивающее коэффициент сопротивления около 15–16 при сохранении высокой степени очистки. Результаты исследования демонстрируют, что представленное устройство отличается высокой производительностью и конкурентоспособностью по сравнению с другими сепарационными

The article presents the results of a numerical study on the operation of a separation module designed for the pre-cleaning of dusty gas flows. The primary focus is on analyzing the influence of the spacing between rows of separator elements on the hydraulic resistance coefficient. A three-dimensional computer model of the device was developed for the study, with rows of elements forming a complex flow trajectory that facilitates particle separation through centrifugal and inertial forces. The inlet gas flow velocity ranged from 3 to 10 m/s, and the distances between rows of elements were set at $0,75l$, l , and $1,25l$, where l is the baseline distance calculated based on the device geometry. The modeling established that increasing the value of l by 25% from the baseline leads to the hydraulic resistance coefficient rising to 30. Increasing the distance reduces the resistance to 14–15. The optimal configuration was found to be the baseline distance, providing a resistance coefficient of approximately 15–16 while maintaining a high degree of cleaning efficiency. The study results demonstrate that the proposed device exhibits high performance and competitiveness compared to other separation apparatuses, such as cyclones and fabric filters. Its application can reduce energy costs and improve the efficiency of gas flow cleaning processes in the agro-industrial sector

аппаратами, такими как циклоны и тканевые фильтры. Его использование позволит снизить энергозатраты и повысить эффективность процессов очистки газовых потоков в агропромышленном комплексе

Ключевые слова: СЕПАРАТОР, ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ, ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ANSYS FLUENT, ОЧИСТКА ГАЗОВОГО ПОТОКА, МЕЛКОДИСПЕРСНЫЕ ЧАСТИЦЫ, ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОСАЖДЕНИЯ

Keywords: SEPARATOR, HYDRAULIC RESISTANCE, NUMERICAL MODELING, ANSYS FLUENT, GAS FLOW CLEANING, FINE PARTICLES, SEPARATION EFFICIENCY

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-204-041>

Введение. Современные агропромышленные технологии неизменно развиваются в направлении повышения эффективности процессов переработки и сортировки сельскохозяйственной продукции. Одной из ключевых задач в этом контексте является необходимость оптимизации процессов разделения твердых частиц различного размера и массы, образующихся в результате обработки зерновых культур. Уменьшение потерь, связанных с неправильной сортировкой или загрязнением конечного продукта, требует поиска и внедрения новых технических решений. Применение инновационных конструкций и методов расчета позволяет не только улучшить производительность оборудования, но и снизить его энергетические затраты, что крайне важно в условиях возрастающего внимания к энергоэффективности.

Прогрессивные подходы к проектированию систем разделения включают использование аэродинамических принципов для достижения точного и быстрого отделения частиц. Разработка таких технологий требует комплексного подхода, включающего моделирование потоков, анализ материалов и использование современных методов расчета. Эффективность подобных систем становится критически важной, особенно в условиях интенсивного производства и необходимости работы с большими объемами материала.

<http://ej.kubagro.ru/2024/10/pdf/41.pdf>

Научные исследования, направленные на изучение процессов разделения и анализа поведения частиц в сепараторах, создают фундамент для разработки новых конструкций. Однако до сих пор остаются не до конца изученными аспекты взаимодействия частиц с рабочей средой, что открывает возможности для новых инженерных решений.

Использование более точных систем разделения позволяет снизить количество пыли и мелких отходов, выбрасываемых в окружающую среду, что имеет большое значение в условиях усиления экологического законодательства.

Состояние исследований и актуальность проблемы. Технологии разделения твердых частиц являются неотъемлемой частью процессов переработки сельскохозяйственной продукции. Наиболее распространёнными методами остаются механическое разделение, гравитационные методы и аэродинамическое воздействие. Однако существующие конструкции сепараторов не всегда обеспечивают достаточную точность отделения мелкодисперсных частиц, что снижает качество готового продукта и приводит к перерасходу энергии.

Научные работы последних лет всё чаще фокусируются на изучении влияния различных факторов, таких как геометрия оборудования, параметры потока и свойства частиц, на эффективность разделения. Одним из перспективных направлений является анализ динамики движения частиц в потоках сложной структуры. В этом контексте численные методы моделирования, такие как вычислительная гидродинамика (CFD), становятся важным инструментом для предсказания поведения частиц и оптимизации конструктивных решений.

Несмотря на существенный прогресс в области моделирования, остаются вопросы, связанные с долговечностью оборудования, стабильностью работы в условиях высокой запылённости и необходимости регулярного обслуживания. Эти проблемы особенно актуальны для

сельского хозяйства, где перерабатываемые материалы отличаются высокой вариативностью состава и размеров частиц.

Дополнительной задачей является адаптация существующих конструкций к условиям малых и средних фермерских хозяйств, которые часто ограничены в ресурсах и нуждаются в компактном, энергоэффективном оборудовании. Проведение исследований, направленных на упрощение конструкции без потери её функциональности, открывает новые перспективы для повышения доступности таких технологий и расширения их применения в аграрной сфере [1].

В рамках исследования разработано устройство (рис. 1), представляющее собой компактный очистной модуль, в котором используется принцип многократного перенаправления потока для выделения мелкодисперсных частиц.

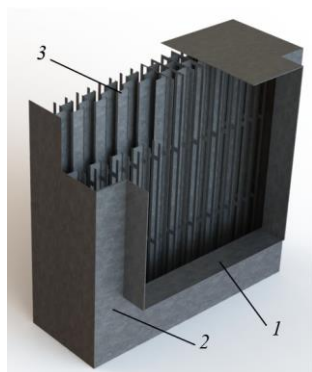


Рисунок 1 – Сепарационный модуль: 1 – вход; 2 – корпус; 3 – элементы

Конструкция основана на чередовании специальных элементов, формирующих сложную траекторию движения газа. Такой подход позволяет создавать зоны локального изменения скорости и направления потока, что способствует эффективному отделению частиц за счёт их оседания на стенках элементов. Основное преимущество устройства заключается в простоте его геометрии, что упрощает изготовление и обслуживание, а также обеспечивает устойчивую работу в условиях

высокой запылённости. Дополнительно устройство позволяет значительно снизить нагрузку на последующие этапы тонкой очистки, увеличивая их эксплуатационный срок. Кроме того, адаптивность конструкции делает её пригодной для использования в различных производственных условиях с изменяющимися параметрами газового потока.

Цель исследований. Целью данного исследования является определение гидравлического сопротивления сепарационного устройства.

Материалы и методы исследований. Для проведения исследования была разработана трёхмерная компьютерная модель устройства, представляющая собой компактный модуль с несколькими рядами элементов определённой геометрии. Каждый элемент моделировался в виде пластины с заданными размерами, расположенной в виртуальном корпусе устройства. Основное внимание при создании модели уделялось точной проработке геометрии элементов, чтобы учесть их влияние на движение газового потока. Для построения модели использовались специализированные программные комплексы для трёхмерного проектирования, что позволило детально проанализировать конструкцию и адаптировать её под различные условия эксплуатации.

Моделирование включало анализ движения газового потока с мелкодисперсными частицами, который поступал в устройство с различными входными скоростями. Основной задачей было определение коэффициента гидравлического сопротивления устройства при разных расстояниях между рядами элементов.

На этапе постановки задачи задавались граничные условия, включая скорость входного газового потока, которая варьировалась в диапазоне 3 - 10 м/с, и давление на выходе, равное атмосферному. Также вводились допущения, такие как стационарность потока и бесконечно малая толщина элементов.

На заключительном этапе численного эксперимента рассматривались три варианта расстояний между рядами элементов: базовое расстояние, увеличенное на 25%, и уменьшенное на 25%. Это позволило изучить влияние геометрических параметров конструкции на общую эффективность устройства. Все результаты исследования были представлены в графическом виде для наглядного анализа полученных данных.

Коэффициент гидравлического сопротивления ξ вычислялся по формуле (1):

$$\xi = \frac{2(p_{\text{вх}} - p_{\text{вых}})}{\rho W^2}, \quad (1)$$

где $p_{\text{вх}}$ – давление на входе, Па; $p_{\text{вых}}$ – давление на выходе, Па; ρ – плотность текучей среды (воздух), кг/м³; W – скорость воздуха в сужении устройства, м/с.

Полученные значения коэффициента гидравлического сопротивления были сравнены для различных конфигураций устройства. На основе анализа результатов определялась оптимальная структура потока, обеспечивающая баланс между высокой эффективностью очистки и умеренным гидравлическим сопротивлением. Результаты расчётов визуализировались в виде графиков, что позволило сделать выводы о влиянии геометрических характеристик на общую производительность устройства.

Результаты исследований. Качественный анализ графика показал, что при увеличении скорости потока во всех конфигурациях наблюдается рост коэффициента гидравлического сопротивления. Это связано с возрастанием турбулентности и локальных завихрений, возникающих в промежутках между элементами.

Наибольшее сопротивление наблюдается при минимальном расстоянии между рядами, что обусловлено интенсивной концентрацией

потоков и увеличением потерь давления. В то же время базовое расстояние позволяет достичь оптимального баланса между эффективностью очистки газового потока и энергозатратами на его прохождение через устройство. Увеличение расстояния между элементами снижает гидравлическое сопротивление до минимальных значений, но это сопровождается уменьшением эффективности осаждения частиц, особенно мелкодисперсных, что делает такой вариант менее предпочтительным (рис. 2).

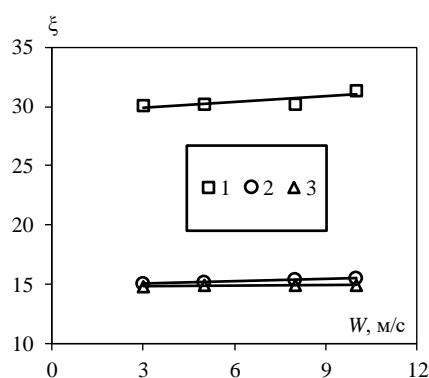


Рисунок 2 – Коэффициент гидравлического сопротивления от скорости на входе: 1 – 75% от l ; 100 % от l ; 125% от l

Количественный анализ подтверждает данные выводы. Коэффициент гидравлического сопротивления для минимального расстояния достигает значений около 30, в то время как для базового расстояния он снижается до 15–16, а для увеличенного расстояния составляет около 14–15. Разница между базовым и увеличенными расстояниями в гидравлическом сопротивлении незначительна, однако эффективность осаждения частиц при увеличенном расстоянии существенно падает. Это свидетельствует о том, что базовое расстояние является наиболее подходящим с точки зрения компромисса между производительностью устройства и его энергетической эффективностью.

Значимость коэффициента гидравлического сопротивления в сепарационных устройствах сложно переоценить, так как он

непосредственно влияет на энергозатраты системы. В то время как в данном исследовании удалось достичь умеренных значений сопротивления при высокой эффективности очистки, в других сепарационных аппаратах, таких как циклоны, гидравлическое сопротивление зачастую значительно выше. Это связано с конструктивными особенностями циклонов, где потери давления могут превышать аналогичные значения в представленном сепараторе из-за сложной структуры движения потока. Аналогичная проблема характерна для других систем тонкой очистки, например, тканевых фильтров, где гидравлическое сопротивление увеличивается по мере их загрязнения. Таким образом, предлагаемое устройство демонстрирует преимущества не только в очистке газового потока, но и в оптимизации энергозатрат, что делает его конкурентоспособным решением для применения в условиях агропромышленного комплекса.

Выводы. 1. Уменьшение расстояния между рядами элементов в сепараторе увеличивает степень очистки газового потока от мелкодисперсных частиц, но приводит к значительному росту коэффициента гидравлического сопротивления, что требует более высоких энергозатрат. 2. При базовом расстоянии между рядами элементов коэффициент гидравлического сопротивления составляет около 15–16. При уменьшении расстояния (75 % от l) сопротивление увеличивается до 30, что повышает эффективность осаждения частиц, но требует больших энергозатрат.

Библиографический список

1. Улавливание частиц пищевой пыли из запыленного потока сепаратором с угловыми вогнутыми элементами / А. А. Абдуллина, Т. О. Шинкевич, Т. М. Тахавиев, М. Г. Кузнецов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2024. – № 201. – С. 23-30.

References

<http://ej.kubagro.ru/2024/10/pdf/41.pdf>

1. Ulavlivanje chastic pishhevoj pyli iz zapylenного potoka separatorom s uglovymi vognutymi jelementami / A. A. Abdullina, T. O. Shinkevich, T. M. Tahaviev, M. G. Kuznecov // Politematiceskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2024. – № 201. – S. 23-30.