

УДК 621.928.6

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

УЛАВЛИВАНИЕ ЧАСТИЦ В ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЕ С СООСНО РАСПОЛОЖЕННЫМИ ТРУБАМИ

Прец Мария Арнольдовна
Старший преподаватель
SPIN – код автора: 8457-2157
Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

Зиангиров Айдар Фаилевич
Студент
SPIN – код автора: 3338-8985
Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

Кузнецов Максим Геннадьевич
Канд. техн. наук
SPIN – код автора: 1592-7630
Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия
Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань, Россия

Современные реалии агропромышленности требуют внедрения новых технологий, которые могут повысить эффективность производственных процессов, особенно в части очистки воздуха и удаления мелких частиц из газовых потоков. В этой работе описывается разработка и моделирование устройства для фильтрации – пылеуловителя с коаксиальными трубами, созданного для решения данных задач. В процессе моделирования была создана трёхмерная модель устройства, в которой учтены все конструктивные особенности: коаксиальные трубы, наклонные сепарационные пластины, прорези для входа и выхода газа, а также бункер для сбора частиц. Особое внимание было уделено взаимодействию частиц с поверхностями пылеуловителя: для стенок было задано условие отпрыгивания частиц, для дна – условие прилипания, что позволило получить более точные результаты. Исследование показало, что фракционная эффективность пылеуловителя колеблется до 0,74. Влияние инерционных сил оказалось решающим для улавливания частиц различного размера, а количество наклонных пластин значительным образом повлияло на общую эффективность работы устройства. Установлено, что увеличение числа пластин до трёх улучшает эффективность, однако при дальнейшем увеличении их количества наблюдается снижение эффективности из-за

UDC 621.928.6

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

PARTICLE CAPTURE IN A DUST COLLECTOR WITH COAXIALLY ARRANGED TUBES

Prets Maria Arnoldovna
Senior Lecturer
RSCI SPIN-code: 8457-2157
Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

Ziangirov Aydar Failevich
Student
RSCI SPIN-code: 3338-8985
Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

Kuznetsov Maxim Gennadievich
Cand.Tech.Sci.
RSCI SPIN-code: 1592-7630
Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia
Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia

The current realities of the agro-industrial sector necessitate the implementation of new technologies aimed at improving production efficiency, particularly in air purification and the removal of fine particles from gas streams. This article describes the development and simulation of a filtration device – a dust collector with coaxially arranged tubes, designed to address these challenges. A three-dimensional model of the collector was constructed during the simulation, incorporating all critical design elements such as the coaxial tubes, angled separation plates, gas inlet and outlet slots, and a particle collection bin. A key focus of the study was the interaction between particles and the dust collector's internal surfaces: a rebound condition was applied to the walls, while the bottom was set to allow particle adhesion, yielding more precise simulation results. The findings revealed that the dust collector's fractional efficiency reached up to 0.74. Inertial forces were found to play a pivotal role in capturing particles of varying sizes, and the number of inclined plates had a significant effect on the overall performance. It was observed that efficiency increased with up to three plates, but adding more plates led to reduced efficiency due to the creation of gas bypass zones. Future research will involve real-world experimental testing of the dust collector to validate the simulation results and further refine the design

образования зон обхода газового потока. В перспективе планируется проведение экспериментальных испытаний пылеуловителя в реальных условиях для подтверждения данных численного моделирования и дальнейшей оптимизации конструкции

Ключевые слова: ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЬ, СООСНО РАСПОЛОЖЕННЫЕ ТРУБЫ, СЕПАРАЦИЯ, МЕЛКОДИСПЕРСНЫЕ ЧАСТИЦЫ, ИНЕРЦИОННЫЕ СИЛЫ, НАКЛОННЫЕ ПЛАСТИНЫ, ФРАКЦИОННАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

Keywords: DUST COLLECTOR, COAXIALLY ARRANGED TUBES, SEPARATION, FINE PARTICLES, INERTIAL FORCES, INCLINED PLATES, FRACTIONAL EFFICIENCY

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-202-024>

Введение. Современный агропромышленный комплекс находится в постоянном поиске эффективных технологий, способных повысить производительность и качество переработки сельскохозяйственной продукции. В условиях возрастающего спроса на экологически чистые и безопасные продукты питания особое значение приобретает совершенствование процессов разделения и очистки сырья. Эффективная сепарация является ключевым этапом в различных технологических цепочках, влияя на конечные показатели производства и качество готовой продукции. Инновационные решения в этой области позволяют не только улучшить технологические процессы, но и снизить энергозатраты, что способствует устойчивому развитию отрасли и сохранению природных ресурсов.

Технологии разделения находят широкое применение в переработке зерна, масличных культур, молока и других продуктов сельского хозяйства. Существующие методы и оборудование не всегда отвечают современным требованиям по эффективности и экологичности, что стимулирует исследования в области создания новых устройств и улучшения существующих технологий. Внедрение передовых сепарационных технологий является одним из приоритетных направлений развития агропромышленного комплекса, способствуя повышению конкурентоспособности продукции на внутреннем и внешнем рынках.

<http://ej.kubagro.ru/2024/08/pdf/24.pdf>

Дополнительно, современные вызовы, связанные с изменением климата и ограниченностью природных ресурсов, требуют от отрасли внедрения более устойчивых и ресурсосберегающих технологий. Разработка инновационных сепараторов с улучшенными характеристиками может значительно снизить потери сырья и уменьшить негативное воздействие на окружающую среду. Это открывает новые возможности для агропромышленного сектора в контексте глобальных трендов по устойчивому развитию и экологизации производства.

Состояние исследований и актуальность проблемы. Анализ современных исследований в области сепарационных технологий показывает, что существует устойчивый интерес к разработке новых методов и конструкций, способных повысить эффективность и точность процессов разделения. Традиционные сепараторы, основанные на гравитационных и центробежных силах, имеют определенные ограничения по производительности и степени очистки, особенно при работе с мелкодисперсными и сложно разделяемыми смесями. Это обуславливает необходимость поиска инновационных решений, обеспечивающих более высокие показатели эффективности при сохранении или снижении энергозатрат.

В последние годы активно развиваются направления, связанные с использованием новых материалов и технологий в конструкциях сепарационного оборудования. Исследования фокусируются на улучшении гидродинамических характеристик, оптимизации потоков и повышении их эффективности.

Помимо улучшения характеристик самих сепараторов, большое внимание уделяется интеграции таких устройств в уже существующие производственные линии. Это позволяет существенно снизить издержки на модернизацию и повысить общую эффективность производственных процессов. Исследования также направлены на адаптацию сепараторов к

различным типам загрязнений, что делает их универсальными для применения в различных отраслях агропромышленности.

Существующая потребность в высокоэффективных и экономичных сепараторах стимулирует дальнейшие исследования и разработки в этом направлении. Решение данных проблем будет способствовать повышению эффективности агропромышленного производства и устойчивому развитию отрасли в целом.

Авторы предлагают новый статический центробежный мультивихревой пылеуловитель (рис. 1). Воздух с частицами поступает в аппарат снизу вверх, выходит сбоку. Небольшие зазоры и определенный угол наклона наклонных пластин создают практически непроницаемую цилиндрическую поверхность, ограничивая направления движения газа и способствуя образованию вихрей при обтекании цилиндрических поверхностей.

Мультивихревая система газа движется вверх по межтрубному пространству, проходит через отверстия в перегородке и выходит из устройства через выходное отверстие. Расположение этих отверстий соответствует положению вихрей, что помогает поддерживать структурированность потока и эффективность пылеулавливания.

Цель исследований. Оценка эффективности пылеуловителя с соосно расположенными трубами.

Материалы и методы исследований. Для исследования эффективности созданного пылеуловителя использовалось программное обеспечение Ansys Fluent. Данный программный продукт позволяет проводить детальный анализ газодинамических процессов и поведения частиц в сложных геометрических конфигурациях, что необходимо для точного исследования работы предлагаемого устройства.

Расчеты проводились с использованием модели турбулентности и метода дискретной фазы для отслеживания траекторий частиц пыли.

Эффективность пылеуловителя определялась путем сравнения количества частиц, введенных на вход устройства, с количеством частиц, осевших в бункере сбора. Таким образом, эффективность улавливания рассчитывалась как отношение числа уловленных частиц к общему числу частиц, прошедших через пылеуловитель, что позволило количественно оценить производительность устройства при различных режимах работы.

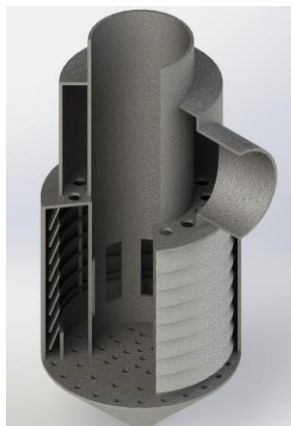


Рисунок 1 – Пылеуловитель с соосно расположенными трубами (вид с разрезом)

В процессе моделирования особое внимание было уделено взаимодействию частиц с внутренними поверхностями пылеуловителя. Для стенок устройства было задано условие отпрыгивания частиц, что имитирует процесс, при котором частицы, сталкиваясь со стенками труб, не оседают сразу, а продолжают двигаться вместе с газовым потоком, отражаясь от стенок. На дне пылеуловителя было установлено условие прилипания, имитирующее оседание частиц в бункере для сбора. Такое разделение условий для различных поверхностей внутри устройства дало возможность детализировать моделирование и получить более точные результаты, касающиеся поведения частиц в разных зонах сепаратора.

Для повышения точности моделирования и обеспечения достоверности результатов, в процессе численных расчетов была проведена верификация путем анализа сеточной независимости. Моделирование сепаратора выполнялось с использованием различных

размеров элементов сетки, которые варьировались от 2 мм до 0,8 мм. На основании проведенного исследования было установлено, что использование сетки с элементами размером 2 мм при дополнительном сгущении в критических зонах обеспечивает приемлемую точность расчетов и минимизирует требования к вычислительным ресурсам. При этом расхождение между результатами составляют не более 1-2 % по гидравлическому сопротивлению.

Основными уравнениями, применяемыми для моделирования траектории частиц, являются уравнения баланса сил. На движение частицы в газовом потоке влияют несколько факторов, включая сопротивление среды, гравитацию и инерционные силы.

Результаты исследований. Исследования показали, что фракционная эффективность пылеуловителя колеблется до 74,8% при размерах частиц до 15 мкм (изменение скорости от 3 до 10 м/с).

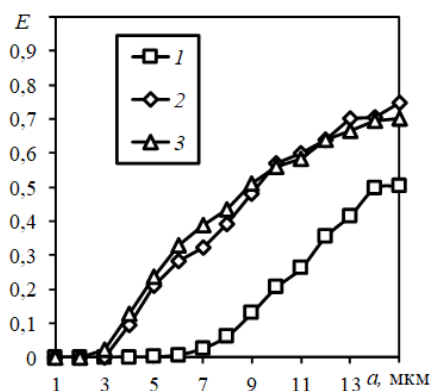


Рисунок 2 – Эффективность пылеуловителя от размера частиц при различной входной скорости, м/с: 1 – 3; 2 – 7; 3 – 10

Скорость газового потока играет ключевую роль в разделении частиц различных размеров внутри пылеуловителя (рис. 1). По мере увеличения скорости газа, частицы меньших размеров, таких как $1-7 \cdot 10^{-6}$ м, имеют тенденцию проходить через устройство без значительного улавливания, поскольку они не успевают отклоняться от основного потока. При скорости газа 3-10 м/с эффективность улавливания этих мелкодисперсных

частиц остаётся ниже 2% (рис. 2), что связано с их малой массой и невозможностью выхода за пределы основного газового потока. Средние значения эффективности пылеуловителя составили 0,16, 0,38 и 0,39 при скоростях газа 3, 7 и 10 м/с соответственно (рис. 2).

В ходе серии исследований было выявлено, что наклонные пластины, размещенные в зоне сепарации (рис. 1) влияют на эффективность пылеуловителя. При их количестве до 3 шт. эффективность возрастает. При этом ее прирост составляет до 5 %. При увеличении пластин более 3 шт. эффективность снижается. Это объясняется тем, что при большом количестве пластин образуется область между пластинами и наружной стенкой пылеуловителя, через которую газ с частицами проскакивает. Вследствие этого определение оптимального количества пластин является важной задачей, т. к., с одной стороны, эффективность может быть увеличена, с другой стороны, снижена.

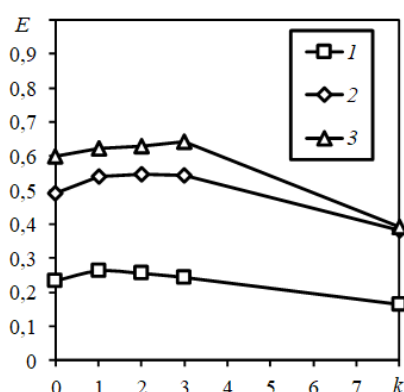


Рисунок 3 – Эффективность пылеуловителя от количества пластин при различной входной скорости, м/с: 1 – 3; 2 – 7; 3 – 10

При входных скоростях газа 3, 7 и 10 м/с эффективность устройства возрастает от 23,3% до 26,3%, от 49,1% до 54,5% и от 60,1% до 62,9% соответственно в диапазоне $0 \leq k \leq 3$. При количестве пластин $k = 8$ эффективность пылеуловителя составляет 16,4%, 38,3% и 39,3% при тех же входных скоростях газа (рис. 3).

В дальнейшем планируется провести экспериментальные испытания разработанного пылеуловителя в реальных производственных условиях. Это позволит проверить и подтвердить результаты численного моделирования на практике, а также выявить возможные области для улучшения конструкции.

Выводы. 1. Инерционные силы, которые напрямую зависят от скорости движения газа, играют ключевую роль в процессе отделения частиц разного размера. Частицы меньше 7 мкм практически не улавливаются при низких скоростях газа, что указывает на необходимость оптимизации режимов работы для мелкодисперсных частиц. 2. Количество наклонных сепарационных пластин существенно влияет на работу пылеуловителя. Увеличение числа пластин до трех ведет к росту эффективности устройства, однако при превышении этого количества эффективность начинает снижаться из-за возникновения зон обхода газа, где частицы не улавливаются. 3. Средние числовые значения эффективности пылеуловителя составили 0,16, 0,38 и 0,39 при скорости газа 3, 7 и 10 м/с соответственно.

Библиографический список

1. Зинуров, В. Э. Оценка энергетических затрат при улавливании мелкодисперсных частиц в сепараторе с соосно расположенными трубами / В. Э. Зинуров, А. В. Дмитриев, Г. Р. Бадретдинова, Р. Я. Биккулов, И. Н. Мадышев // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2021. – Т. 25. – № 2. – С. 196-206.

References

1. Zinurov, V. Je. Ocenka jenergeticheskikh zatrat pri ulavlivanii melkodispersnyh chastic v separatore s soosno raspolzhennymi trubami / V. Je. Zinurov, A. V. Dmitriev, G. R. Badretdinova, R. Ja. Bikkulov, I. N. Madyshev // Vestnik Irkutского gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. – 2021. – Т. 25. – № 2. – S. 196-206.