

УДК 621.928.6

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

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ УЛАВЛИВАНИЯ МЕЛКИХ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ ПЫЛИ В МУЛЬТИВИХРЕВОМ СЕПАРАТОРЕ

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

Биккулов Рустем Ядкарлович
Канд. техн. наук
Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

Дмитриева Оксана Сергеевна
Канд. техн. наук
SPIN – код автора: 3240-7270
Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань, Россия

Исключение пылевых загрязнений представляет собой одну из приоритетных целей в агропромышленности. В данной работе представлены результаты исследования эффективности улавливания мелких твердых частиц пыли с использованием мультивихревого сепаратора. Исследования проводились с целью выявления зависимости эффективности сепарации от скорости воздушного потока, проходящего через устройство. Для экспериментов была разработана модель сепаратора с квадратными и круглыми отверстиями, изготовленная методом 3D-печати из PLA-пластика. Размеры устройства и его геометрические особенности были тщательно спроектированы для обеспечения оптимальных условий завихрения воздушного потока, что способствует более эффективному улавливанию частиц. Эксперименты проводились при различных скоростях воздушного потока, начиная от 1,2 м/с до 6,9 м/с. В ходе исследования было установлено, что при увеличении скорости воздушного потока эффективность сепарации возрастает. Максимальная эффективность улавливания достигнута при скорости потока 6,9 м/с, где показатель эффективности составил около 73%. Такой результат объясняется формированием устойчивых вихревых структур внутри сепаратора, что способствует осаждению мелких частиц пыли на стенках устройства

Ключевые слова: МЕЛКОДИСПЕРСНЫЕ ТВЕРДЫЕ ЧАСТИЦЫ, СКОРОСТЬ ПОТОКА

UDC 621.928.6

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

EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF CAPTURING FINE SOLID DUST PARTICLES IN A MULTIVORTEX SEPARATOR

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

Bikkulov Rustem Yadkarovich
Cand.Tech.Sci.
Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

Dmitrieva Oksana Sergeevna
Cand.Tech.Sci.
RSCI SPIN-code: 3240-7270
Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia

The elimination of dust contamination is one of the priority goals in the agro-industrial sector. An important task in the agro-industrial complex is the capture of dust particles. This paper presents the results of a study on the efficiency of capturing fine solid dust particles using a multivortex separator. The research aimed to determine the dependence of separation efficiency on the velocity of the air flow passing through the device. For the experiments, a separator model with square and round openings was developed, manufactured using 3D printing technology from PLA plastic. The dimensions and geometric features of the device were carefully designed to provide optimal conditions for the formation of air vortices, enhancing particle capture efficiency. The experiments were conducted at various air flow speeds, ranging from 1.2 m/s to 6.9 m/s. The study found that as the air flow speed increased, the separation efficiency also improved. The maximum capture efficiency was achieved at an air flow speed of 6.9 m/s, where the efficiency reached approximately 73%. This result is explained by the formation of stable vortex structures inside the separator, which contributes to the deposition of fine dust particles on the walls of the device. This device is promising for use in the agro-industry, where a highly efficient system for cleaning air flows from dust pollution is required

Keywords: FINE SOLID PARTICLES, AIRFLOW VELOCITY, SEPARATION, ADDITIVE

ВОЗДУХА, РАЗДЕЛЕНИЕ, АДДИТИВНОЕ
ПРОИЗВОДСТВО,
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ОТРАСЛЬ,
ВИХРИ, СЕПАРАЦИОННОЕ УСТРОЙСТВО

MANUFACTURING, AGRICULTURAL SECTOR,
VORTICES, SEPARATION DEVICE.

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-203-020>

Введение. Промышленное развитие требует постоянного совершенствования технологий, которые обеспечивают более эффективное использование ресурсов. Системы сепарации применяются во множестве отраслей, от сельского хозяйства до химической и пищевой промышленности. Их использование особенно важно в агропромышленном комплексе, где разделение частиц играет ключевую роль в процессах переработки сельскохозяйственных продуктов. В современных условиях повышенной конкуренции и требований к качеству продукции возрастает необходимость внедрения более совершенных технических решений, которые позволяют минимизировать затраты и оптимизировать производственные процессы.

Процесс разделения частиц имеет множество факторов, влияющих на его эффективность: скорость воздушного потока, характеристики обрабатываемого материала, а также конструктивные особенности устройств. Разработка новых методов и моделей сепарации частиц становится все более актуальной, так как они позволяют не только повысить производительность, но и улучшить экологические характеристики оборудования. Современные исследования в этой области направлены на повышение эффективности процесса сепарации путем совершенствования конструкций и использования новых математических моделей для прогнозирования поведения воздушных потоков и частиц в рабочих зонах устройств.

Тенденции к оптимизации сельскохозяйственного оборудования основаны на необходимости более точного разделения частиц для снижения потерь сырья и повышения выхода готовой продукции.

<http://ej.kubagro.ru/2024/09/pdf/20.pdf>

Использование таких технологий позволяет не только минимизировать отходы, но и повысить качество обработки продуктов, что напрямую влияет на конкурентоспособность производителей.

Одним из ключевых направлений в исследованиях является снижение энергозатрат на стадии сепарации частиц, что особенно важно в условиях современных агропромышленных предприятий. Энергоэффективность оборудования становится важным критерием выбора технологий, поскольку она позволяет снизить себестоимость производства и повысить его устойчивость к колебаниям цен на энергоресурсы.

Состояние исследований и актуальность проблемы. Основной акцент в исследованиях делается на повышение производительности оборудования и улучшение качества обработки частиц. Традиционные методы сепарации, такие как центробежные и инерционные методы, постепенно дополняются новыми решениями, основанными на использовании сложных геометрий устройств и передовых турбулентных моделей для расчета воздушных потоков. Одним из перспективных направлений является внедрение мультивихревых технологий, которые обеспечивают высокую эффективность отделения частиц благодаря сложной динамике потоков внутри устройства.

Современные исследования показывают, что использование моделей турбулентности, таких как k - ε , k - ω и Spalart-Allmaras, позволяет существенно улучшить точность прогнозирования поведения частиц в сепараторах. Кроме того, разработка новых конструкций с улучшенными характеристиками воздушных потоков и минимизацией потерь давления внутри системы также является важным направлением. В то же время, проблема разделения частиц различных фракций остается актуальной, так как высокая концентрация мелких частиц может негативно сказываться на производительности и сроке службы оборудования. В связи с этим,

дальнейшие исследования в области проектирования и оптимизации сепараторов остаются важным направлением для повышения эффективности агропромышленных процессов.

Помимо вопросов энергоэффективности и повышения производительности, важным аспектом является экологическая безопасность оборудования. Традиционные технологии сепарации могут способствовать выбросу пыли и мелких частиц в окружающую среду, что отрицательно влияет на экологические показатели предприятий. Поэтому большое внимание уделяется разработке систем, способных минимизировать негативное воздействие на окружающую среду за счет улавливания даже самых мелких частиц. Это особенно актуально в условиях агропромышленных предприятий, где большое количество пылевидных частиц может привести к загрязнению воздуха и нарушению санитарных норм.

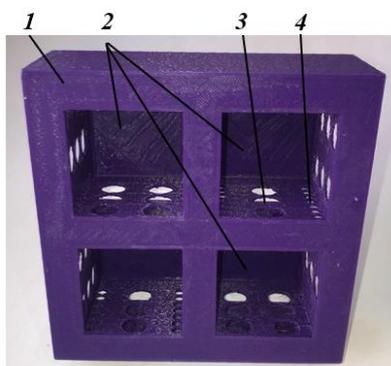


Рисунок 1 – Мультивихревой сепаратор (1 – устройство; 2 – квадратные отверстия; 3 и 4 – круглые отверстия)

В статье [1] был предложен мультивихревой сепаратор (рис. 1). Газ с пылевыми частицами входит через квадратные отверстия 2. После чего проходит через круглые отверстия различного размера 3 и 4. В результате пылевой поток газа оказывается в специальных каналах с обратной стороны устройства. Ввиду того, что все щели расположены относительно друг друга на определенном расстоянии в каналах возникает множество

завихрений. Конечным результатом является отделение мелких частиц от пылевого потока газа на стенки устройства, на которые они прилипают.

Цель исследований. Оценить эффективность улавливания мелких твердых частиц пыли в мультивихревом сепараторе.

Материалы и методы исследований. Для проведения экспериментов была разработана и изготовлена модель мультивихревого сепаратора, которая использовалась в исследованиях. Модель устройства была создана с применением технологии 3D-печати, что позволило максимально точно воспроизвести все конструктивные особенности исследуемого устройства. Основные геометрические параметры сепаратора включают длину устройства 0,135 м, ширина 0,055 м и высоту 0,045 м. Диаметр квадратных отверстий составляет 0,01 м, а круглые отверстия различаются по диаметру: 0,006-0,008 м для разных секций устройства.

Перед началом экспериментальных исследований была проведена детальная подготовка модели и рабочих условий. Модель сепаратора была тщательно очищена от любых загрязнений, которые могли бы повлиять на точность измерений и качество экспериментов. Поскольку основным параметром в данном исследовании является оценка эффективности улавливания частиц, было крайне важно обеспечить отсутствие лишних частиц на поверхности сепаратора до начала работы.

Для проведения экспериментов использовались частицы пыли с различными физическими характеристиками, включая размер и плотность. Параметры скорости потока газа, а также концентрации пыли были тщательно откалиброваны перед каждым запуском для обеспечения воспроизводимости результатов.

Оценка эффективности сепарации проводилась с использованием экспериментальных данных, основанных на изменении массы устройства и

массы улавливаемых частиц. Эффективность устройства вычислялась по следующей формуле:

$$E = 1 - \frac{m_{i2} - m_{i1}}{m_0}, \quad (1)$$

где m_{i2} – масса устройства с уловленными частицами, г; m_{i1} – масса устройства без частиц, г; m_0 – масса частиц, подаваемых на улавливание, г.

Перед каждым запуском производились замеры массы сепаратора до и после проведения эксперимента, а также фиксировалась масса пылевых частиц, попадающих в сепаратор. Используя указанную формулу, рассчитывалась эффективность улавливания частиц, что позволяло оценить работу устройства при различных параметрах потока газа.

Результаты исследований. В ходе проведенных экспериментов была оценена эффективность мультивихревого сепаратора при различных скоростях потока газа.

При низких скоростях потока, таких как 1,22 м/с, эффективность улавливания составляла около 0,397-0,4, что свидетельствует о сравнительно низкой способности устройства к захвату мелких частиц. Это можно объяснить недостаточной энергией воздушного потока, что приводит к слабому завихрению в каналах устройства.

С увеличением скорости до 2,33 м/с эффективность улавливания возрастает до 0,533-0,545. При данной скорости в каналах сепаратора формируются более устойчивые вихри, что способствует лучшему отделению мелких частиц пыли от основного потока газа. Это свидетельствует о том, что скорость воздушного потока является важным параметром, определяющим качество сепарации.

При дальнейшем увеличении скорости до 4,53-4,58 м/с эффективность сепарации достигает значений в диапазоне 0,646-0,656. На данном этапе можно сделать вывод о том, что при таких скоростях процесс завихрения в каналах устройства становится максимально интенсивным,

что приводит к наиболее эффективному осаждению частиц на стенках устройства. Это подтверждает, что повышение скорости воздушного потока в пределах данного диапазона оказывает положительное влияние на эффективность улавливания частиц.

Таблица 1 – Результаты проведенного эксперимента

№ опыта	Скорости, м/с	Масса устройства, г	Масса устройства после опыта, г	Масса подаваемых частиц, г	Эффективность E
1	1,22	163,32	177,22	23,16	0,397
2	1,21	163,92	177,96	23,41	0,39
3	1,21	164,39	178,2	23,02	0,4
1	2,33	164,24	174,99	23,36	0,533
2	2,31	161,5	172,23	23,34	0,534
3	2,29	162,46	172,93	22,76	0,545
1	3,2	163,42	172,3	22,78	0,614
2	3,19	159,48	168,61	23,4	0,604
3	3,2	162,77	171,5	22,4	0,621
1	4,53	162,17	170,11	22,69	0,655
2	4,54	162,33	170,26	22,66	0,656
3	4,58	166,21	174,36	23,36	0,646
1	5,27	162,91	169,66	23,25	0,707
2	5,2	161,95	168,76	23,45	0,705
3	5,25	165,77	172,44	23,01	0,71
1	6,29	164,84	171,25	22,91	0,721
2	6,38	162,9	169,51	23,61	0,713
3	6,22	165,13	171,66	23,33	0,716
1	6,94	160,17	166,29	22,68	0,734
2	6,87	164,43	170,77	23,47	0,725
3	6,98	162,67	169,03	23,56	0,724

При скорости свыше 6 м/с (например, при 6,29-6,98 м/с) эффективность улавливания достигает своего пика — около 0,721-0,734. Это свидетельствует о том, что при таких скоростях процесс сепарации становится наиболее эффективным, так как вихревые потоки в каналах устройства создают условия для максимального отделения частиц пыли.

Таким образом, результаты экспериментов показали, что эффективность мультивихревого сепаратора напрямую зависит от скорости воздушного потока. При оптимальных значениях скорости (около 6 м/с) сепаратор демонстрирует наибольшую эффективность, достигая показателей улавливания частиц до 73%. Эти результаты могут быть использованы для дальнейшего совершенствования конструкции сепаратора и настройки его рабочих параметров для достижения максимальной производительности в условиях агропромышленных предприятий.

Выводы. 1. При скорости свыше 6 м/с эффективность улавливания частиц достигает своего максимума, что подтверждает важность настройки скорости для оптимальной работы устройства. 2. Наиболее эффективная работа сепаратора наблюдается при скоростях воздушного потока в диапазоне 6,29-6,98 м/с (эффективность улавливания пыли достигает 72-73%).

Библиографический список

1. Зинуров В. Э. и др. Определение расчетной скорости газового потока в фильтрах грубой и тонкой очистки при различной степени загрязненности в окрасочных камерах //Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2022. – Т. 24. – №. 5. – С. 3-12.

References

1. Zinurov V. Je. i dr. Opredelenie raschetnoj skorosti gazovogo potoka v fil'trah gruboj i tonkoj ochistki pri razlichnoj stepeni zagrjaznennosti v okrasochnyh kamerah //Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Problemy jenergetiki. – 2022. – Т. 24. – №. 5. – S. 3-12.