

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)

РАЗРАБОТКА ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МУЛЬТИВИХРЕВОГО КЛАССИФИКАТОРА ДЛЯ ФРАКЦИОНИРОВАНИЯ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ

DEVELOPMENT OF A PARAMETRIC MODEL OF A MULTIVORTEX CLASSIFIER FOR SOLID PARTICLE FRACTIONATION

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

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

Мугинов Арслан Маратович
Студент
SPIN – код автора: 3425-1647
Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

Muginov Arslan Maratovich
Student
RSCI SPIN-code: 3425-1647
Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

Юмадилова Аида Ильдаровна
Студент
Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

Yumadilova Aida Ildarovna
Student
Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

В статье рассмотрены исследования мультिवихревого классификатора, разработанного с целью повышения эффективности разделения частиц в системах агропромышленного комплекса. Одной из ключевых задач является точное и энергоэффективное фракционирование материалов, особенно при работе с мелкодисперсными частицами. Для достижения этой цели была создана параметрическая модель мультिवихревого классификатора, которая позволила проанализировать влияние таких конструктивных элементов, как диаметр вихрей, количество вертикальных протоков и межтрубное пространство, на формирование устойчивых вихревых потоков. Проведенные численные расчеты подтвердили, что оптимизация данных параметров способствует достижению высокой точности разделения при минимальных энергетических затратах. Модель, разработанная в программной среде Компас-3D, предоставила возможность визуализировать процесс сепарации и провести виртуальные эксперименты, что позволило выявить оптимальные конструктивные решения. В ходе исследования были детально изучены такие элементы, как внутренние и внешние трубы, выходная пластина, а также их влияние на инерционные и центробежные силы, участвующие в процессе разделения частиц. Мультिवихревые классификаторы представляются перспективными для широкого

The article presents a study of a multivortex classifier designed to improve particle separation efficiency in the agro-industrial complex. One of the key objectives is the precise and energy-efficient fractionation of materials, especially when working with fine particles. To achieve this goal, a parametric model of the multivortex classifier was developed, allowing for an analysis of the influence of design elements such as vortex diameter, the number of vertical grooves, and the inter-pipe space on the formation of stable vortex flows. The numerical calculations conducted confirmed that optimizing these parameters contributes to achieving high separation accuracy with minimal energy consumption. The model, developed in the Compass-3D software environment, enabled the visualization of the separation process and the performance of virtual experiments, which helped to identify optimal design solutions. The study thoroughly examined elements such as the inner and outer pipes, the outlet plate, and their impact on the inertial and centrifugal forces involved in the particle separation process. The results of the study show that multivortex classifiers can significantly improve the performance of agricultural raw material processing by increasing accuracy and reducing energy costs. Multivortex classifiers appear to be promising for widespread implementation in the agro-industrial complex, with the aim of improving production efficiency and enhancing environmental safety

внедрения в агропромышленный комплекс с целью повышения эффективности производственных процессов и улучшения экологической безопасности

Ключевые слова: МУЛЬТИВИХРЕВОЙ КЛАССИФИКАТОР, АГРОПРОМЫШЛЕННЫЙ КОМПЛЕКС, ФРАКЦИОНИРОВАНИЕ ЧАСТИЦ, ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ, ЦЕНТРОБЕЖНЫЕ СИЛЫ, ВИХРЕОБРАЗОВАНИЕ, СЕПАРАЦИЯ, ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ

Keywords: MULTIVORTEX CLASSIFIER, AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX, PARTICLE FRACTIONATION, PARAMETRIC MODEL, CENTRIFUGAL FORCES, VORTEX FORMATION, SEPARATION, ENERGY EFFICIENCY

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-203-025>

Введение. Проблема улучшения эффективности работы машин и оборудования для агропромышленного комплекса становится все более актуальной в условиях нарастающей потребности в повышении производительности сельскохозяйственных предприятий. Современные аграрные предприятия стремятся внедрять системы, обеспечивающие более точную обработку и разделение материалов, что способствует снижению потерь и повышению качества конечной продукции.

На фоне этих изменений особое внимание уделяется технике для обработки зерна и других растительных культур. Одной из наиболее значимых задач в данном направлении является разработка эффективных классификационных устройств, которые бы соответствовали требованиям высокопроизводительного сельского хозяйства. Современные устройства должны отличаться повышенной точностью и надежностью в работе, чтобы минимизировать затраты на переработку и снизить отрицательное воздействие на окружающую среду. В условиях стремительного развития технологий, таких как автоматизация и цифровизация, инновационные решения в области сельхозтехники позволяют значительно оптимизировать процессы и ресурсы.

С ростом сельскохозяйственного производства возрастает необходимость совершенствования систем сепарации и классификации продуктов переработки. Это требует внедрения инновационных подходов

<http://ej.kubagro.ru/2024/09/pdf/25.pdf>

к разработке оборудования, которое способно обеспечить не только высокую степень очистки и отделения материалов, но и снижение энергетических затрат. Таким образом, вопрос разработки высокоэффективных устройств для обработки сельскохозяйственных материалов остается ключевым для дальнейшего развития отрасли.

Внедрение новых технологий в агропромышленный комплекс также требует учета глобальных экологических вызовов. Снижение углеродного следа и минимизация загрязнения окружающей среды являются одними из приоритетных задач для сельскохозяйственных предприятий. В этой связи важно разрабатывать оборудование, которое не только повышает производительность, но и способствует экологически безопасным процессам обработки сельскохозяйственных материалов. Оптимизация работы машин и устройств, направленных на снижение выбросов и рациональное использование энергии, способствует созданию более устойчивой системы сельского хозяйства.

Кроме того, возрастающие требования к качеству продукции и соблюдению международных стандартов вынуждают агропромышленные предприятия переходить на более сложные системы переработки и сортировки продукции. В частности, растет необходимость в разработке классификационных устройств, способных эффективно разделять сырье на различные фракции, что особенно актуально для экспортоориентированных производителей.

Состояние исследований и актуальность проблемы. Исследования в области классификационных систем для агропромышленного комплекса на данный момент находятся на стадии активного развития. Большая часть современных технологий основана на усовершенствовании методов сепарации и классификации частиц с использованием различных физических принципов. Традиционные классификаторы, применяемые в агропромышленности, демонстрируют

хорошие результаты в отношении обработки крупных частиц, однако при работе с мелкими фракциями возникают проблемы с точностью разделения.

Развитие классификаторов, способных эффективно разделять частицы различного размера и формы, представляет собой важную задачу для научного сообщества. Проблема повышения эффективности разделения мелких частиц требует разработки более сложных и точных устройств, которые смогут обеспечивать стабильные результаты при низких эксплуатационных затратах.

Кроме того, актуальной проблемой является внедрение энергоэффективных технологий, что также важно для агропромышленного сектора. Большая часть оборудования для переработки сырья потребляет значительные объемы энергии, что увеличивает затраты на производство и делает его менее конкурентоспособным. Исследования показывают, что оптимизация процессов сепарации и классификации с применением инновационных решений, таких как мультивихревые устройства, позволяет значительно снизить энергопотребление и повысить производительность.

Таким образом, современные исследования в области разработки классификационного оборудования для агропромышленного комплекса направлены на решение двух ключевых проблем: повышение точности разделения частиц и снижение энергоемкости процессов.

Авторами статьи предлагается использовать мультивихревой классификатор [1] для фракционирования твердых частиц.

Развитие таких моделей, как параметрическая модель мультивихревого классификатора, открывает новые возможности для совершенствования технологий сепарации в агропромышленном комплексе.

Цель исследований. Целью работы является создание параметрической модели мультивихревого классификатора.

Материалы и методы исследований. Авторами работы построена параметрическая модель мультивихревого классификатора (рис. 1), основные параметры которой представлены на рисунке 2. Для создания параметрической модели устройства использовалась программа Компас-3D, которая позволяет точно моделировать геометрические элементы и проводить необходимые расчеты. Программное обеспечение обеспечило гибкость при настройке и изменении конструктивных параметров, что позволило провести оптимизацию конструкции классификатора с учетом технических требований. Модель была визуализирована и протестирована на основе полученных расчетов, что дало возможность наглядно оценить работу устройства и выявить зоны для дальнейшего улучшения конструкции.

Конструктивно аппарат состоит из внешней и внутренней труб. Высота внутренней трубы 1 задается параметром h_4 , а ее внутренний диаметр – параметром d . Выходная пластина 2 имеет отверстия диаметром d_0 . Диаметр вихрей в межтрубном пространстве определяется параметром d_1 . Внутренний диаметр внешней трубы 3 определяется по формуле:

$$D = d + 2t + 2d_1, \quad (1)$$

где t – толщина стенок мультивихревого классификатора, мм.

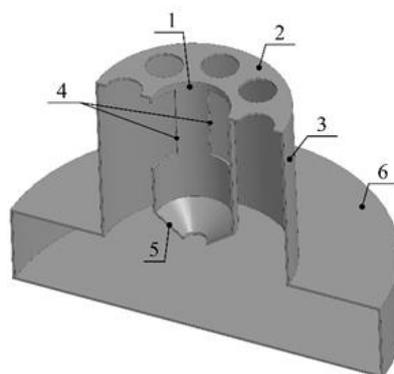


Рисунок 1 – Параметрическая модель мультивихревого классификатора (вид с разрезом): 1 – внутренняя труба, 2 – выходная пластина, 3 – внешняя труба, 4 – вертикальные проточки, 5 – конус внутренней трубы, 6 – бункер

Во внутренней трубе 1 выполнены вертикальные проточки 4 с высотой h_2 и шириной b . Высота конуса 5 составляет h_3 , а диаметр окружности в его основании равен d_2 . Бункер 6 имеет внутренний диаметр D_0 и высоту h_5 .

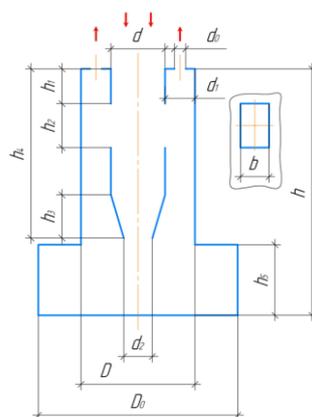


Рисунок 2 – схема мультивихревого классификатора с указанием параметризованных размеров

Количество отверстий в выходной пластине 2 и вертикальных проточек 4 зависит от количества вихрей в межтрубном пространстве, которое находится по формуле (2). Важно отметить, что значение n округляется до ближайшего целого числа.

$$n = \frac{D + d + 2t}{2d_1}. \quad (2)$$

Результаты исследований. Разработанная параметрическая модель позволяет определить диапазоны значений параметров, при которых возможно вихреобразование, а также дает возможность детально изучить влияние конструктивного оформления различных элементов аппарата на инерционные и центробежные механизмы разделения частиц от запыленного газа, протекающих в аппарате. Модель аппарата (рис. 1) позволила рассчитать взаимосвязь между конструктивными элементами (табл. 1).

Таблица 1 – Зависимые параметры модели мультивихревого классификатора

d , мм	d_1 , мм	t , мм	D , мм	D_0 , мм	n
20	10	1	42	84	3
30	20	1	72	144	3
40	15	1	72	144	4
60	25	1	112	224	3
80	15	1	112	244	6

Принцип работы мультивихревого классификация можно описать следующим образом: мелкодисперсные частицы в потоке газа попадают в аппарат через внутреннюю трубу 1, далее они, проходя через вертикальные проточки 4, попадают в межтрубное пространство, где происходит вихреобразование. Вихри в межтрубном пространстве осуществляют сортировку частиц по крупности за счет центробежных сил. Мелкие частицы сохраняются в вихрях, крупные оседают в аппарате. Частицы, имеющие достаточно крупный размер, могут под действием инерционных сил не попасть в вертикальные проточки 4, а опустится в бункер 6 через конус 5.

Разработанная параметрическая модель мультивихревого классификатора продемонстрировала возможность детального анализа влияния различных конструктивных параметров на эффективность работы устройства. В ходе расчетов выявлено, что величина диаметра вихрей и

количество вертикальных проточек оказывают непосредственное влияние на процесс разделения частиц.

Численные расчеты, выполненные с использованием параметрической модели, подтвердили, что оптимальные значения параметров, такие как диаметр внутренней трубы и межтрубное расстояние, позволяют обеспечить высокую эффективность фракционирования при минимальных энергетических затратах.

Перспективы применения мультивихревых классификаторов в агропромышленном комплексе заключаются не только в повышении точности разделения частиц, но и в улучшении энергоэффективности производственных процессов. Эти устройства могут значительно снизить потребление энергии за счет оптимизации работы и минимизации потерь при разделении материалов. Внедрение таких решений позволит агропредприятиям повысить рентабельность и сократить негативное воздействие на окружающую среду, что делает их внедрение особенно актуальным в современных условиях.

Выводы. 1. Разработанная параметрическая модель мультивихревого классификатора продемонстрировала высокую эффективность разделения частиц различной крупности, особенно в диапазоне мелкодисперсных частиц. 2. Результаты исследований показали, что оптимальные параметры вихрей и вертикальных проточек позволяют значительно улучшить производительность классификатора при низких энергетических затратах. 3. Мультивихревые классификаторы могут найти широкое применение в различных процессах агропромышленного комплекса, где требуется точное и энергоэффективное разделение твердых частиц, что делает разработку актуальной и востребованной.

Библиографический список

1. Зинуров, В. Э. Влияние конструктивного оформления статического мультивихревого классификатора на эффективность фракционирования частиц силикагеля / В. Э. Зинуров, А. В. Дмитриев, О. С. Дмитриева, А. М. Мугинов // Башкирский химический журнал. – 2023. – Т. 30. – № 4. – С. 99-106.

References

1. Zinurov, V. Je. Vlijanie konstruktivnogo oformlenija staticheskogo mul'tivihrevogo klassifikatora na jeffektivnost' frakcionirovanija chastic silikagelja / V. Je. Zinurov, A. V. Dmitriev, O. S. Dmitrieva, A. M. Muginov // Bashkirskij himicheskij zhurnal. – 2023. – Т. 30. – № 4. – S. 99-106.