

УДК 621.928.6

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

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦЕНТРОБЕЖНОГО КЛАССИФИКАТОРА ДЛЯ ФРАКЦИОНИРОВАНИЯ МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ ПОРОШКОВ В АГРОТЕХНИКЕ**

Мугинов Арслан Маратович  
студент

SPIN – код автора: 3425-1647

*Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия*

Лушнов Максим Александрович

Канд. техн. наук

SPIN – код автора: 9391-6897

*Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия*

Большаков Игорь Александрович

Магистрант

*Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия*

Шарипов Ильнар Илдарович

Канд. техн. наук

SPIN – код автора: 8046-8265

*Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия*

В статье рассматриваются ключевые аспекты применения различных классификаторов в агропромышленном секторе для фракционирования мелкодисперсных порошков. Основное внимание уделяется анализу эффективности центробежного классификатора при различных значениях входной скорости газа и высоты прорези. Целью работы является оценка эффективности классификатора при фракционировании мелкодисперсных порошков. Исследование проводилось с использованием программного обеспечения Ansys Fluent. В работе подробно описывается конструкция классификатора. Показано, что в результате создания мультивихревой системы в пространстве между труб достигается высокая эффективность фракционирования. Результаты исследования демонстрируют высокую эффективность центробежного классификатора в разделении частиц с крупностью граничного зерна 40–60 мкм, особенно при увеличении скорости газового потока. Показано, что оптимальные параметры для достижения максимальной эффективности фракционирования — это высота прорезей менее 35 мм и скорость

UDC 621.928.6

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

**EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF A CENTRIFUGAL CLASSIFIER FOR FRACTIONATION OF FINE POWDERS IN AGRICULTURAL ENGINEERING**

Muginov Arslan Maratovich  
Student

RSCI SPIN-code: 3425-1647

*Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia*

Lushnov Maksim Aleksandrovich

Cand.Tech.Sci.

RSCI SPIN-code: 9391-6897

*Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia*

Bolshakov Igor Alexandrovich

Master's Degree student

*Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia*

Sharipov Inar Ildarovich

Cand.Tech.Sci.

RSCI SPIN-code: 8046-8265

*Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia*

The article discusses the key aspects of the application of various classifiers in the agro-industrial sector for the fractionation of fine powders. The main attention is paid to the analysis of the efficiency of the centrifugal classifier at different values of the inlet gas velocity and the height of the slot. The aim of the work is to evaluate the effectiveness of the classifier in the fractionation of fine powders. The study was conducted using the Ansys Fluent software. The study describes in detail the design of the classifier. It is shown that as a result of creating a multi-vortex system in the space between the pipes, high fractionation efficiency is achieved. The results of the study demonstrate the high efficiency of the centrifugal classifier in separating particles with a grain size of 40-60 microns, especially with increasing gas flow velocity. It is shown that the optimal parameters for achieving maximum fractionation efficiency are the height of the slots less than 35 mm and the velocity of the inlet gas flow from 8 to 16 m/s. The hydraulic resistance of the classifier ranges from 560 to 2140 Pa at a speed of 8-16 m/s and a slot height of 15-35 mm

входного газового потока от 8 до 16 м/с.  
Гидравлическое сопротивление классификатора  
составляет от 560 до 2140 Па при скорости 8 – 16  
м/с и высоте прорезей 15-35 мм.

Ключевые слова: ЦЕНТРОБЕЖНЫЙ  
КЛАССИФИКАТОР, МЕЛКОДИСПЕРНЫЕ  
ПОРОШКИ, КЛАССИФИКАЦИЯ,  
ФРАКЦИОНИРОВАНИЕ ЧАСТИЦ,  
ПНЕВМАТИЧЕСКИЙ КЛАССИФИКАТОР,  
КРУПНОСТЬ ГРАНИЧНОГО ЗЕРНА,  
ПОРОШКОВЫЕ ПРОДУКТЫ

Keywords: CENTRIFUGAL CLASSIFIER, FINE  
POWDERS, CLASSIFICATION, PARTICLE  
FRACTIONATION, PNEUMATIC CLASSIFIER,  
GRAIN SIZE, POWDER PRODUCTS

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-198-018>

**Введение.** В современном агропромышленном секторе для обеспечения конкурентоспособности предприятий требуется высокое качество обработки и сортировки сельскохозяйственных продуктов. Применение классификаторов – специализированных аппаратов для разделения частиц по размерности, играет важную роль. Аппараты для классификации применяются в целях оптимизации технологических процессов обработки, фракционирования и сортировки различной продукции, таких как семена, крупы, порошковые продукты и другие сельскохозяйственные сырьевые материалы.

Классификаторы применяются для разделения сыпучего материала на фракции требуемой размерности, что позволяет достичь единообразия продукции, повышая ее качество, что в последствии улучшает производительность технологических процессов и снижает затраты на производство. Например, в семенной промышленности классификаторы используются для разделения семян по размеру, что позволяет достичь высоких посевных качеств и повысить урожайность. К тому же классификаторы применяются для производства удобрений. Данные аппараты используются для разделения минеральных компонентов и создания смесей определенной гранулометрической структуры. Другими словами, классификаторы, в оптимальных условиях функционирования,

обеспечивают высокое качество производимой продукции, положительно воздействуют на экономическое развитие предприятия.

**Состояние исследований и актуальность проблемы.** На данный момент существует множество различных классификаторов-сепараторов. По принципу действия их можно разделить на пневматические, механические, электрические, оптические и др.

Пневматические классификаторы обеспечивают разделение зернового вороха за счет разности скорости витания мелкодисперсной частиц. Другими словами, подобные аппараты обеспечивают осаждение крупных частиц и унос достаточно легких частиц потоком воздуха.

В основе принципа действия механических классификаторов лежит колебание кузова, при чём движения могут быть как круговыми, так и плоскопараллельными. Такие аппараты позволяют отделять крупные и мелкие частицы от зернового продукта.

В электрозерноочистительных машинах применяется принцип разделения в электрическом поле коронного разряда и электростатическом поле. Оптические сепараторы осуществляют фракционирование на основе цифрового изображения, то есть сортируют зерна по их цвету.

В работе [1] представлена полезная модель применимая для первичной очистки зернового вороха – решетный стан, включающий решето для сортировки материала. В статье приведён один из путей интенсификации процесса сепарации зерна на плоских решетках. В работе [3] исследуется технология воздушной сепарации мелкодисперсных частиц, размер которых не позволяет применить к ним фракционирование решетом. Авторами представлены результаты компьютерного моделирования улавливания продуктов размола, а также решена задача выявления рациональной скорости воздушного потока и особенностей конструкции классификатора.

Авторами работы разработан центробежный мультивихревой классификатор [2] с соосно расположенными трубами, представленный на рисунке 1. Аппарат представляет собой конструкцию труба в трубе. Воздушный поток, в котором находятся частицы различного размера, поступает в патрубок 1, затем движется по внутренней трубе и распределяется по прорезям 2, имеющие высоту  $h_1$ , образуя мультивихревую систему в пространстве между труб. Крупные частицы падают вниз в бункер б, мелкие частицы уносятся из аппарата. Сначала они приходят с газом через решетку с отверстиями 3 и покидают классификатор через выходной патрубок 4.

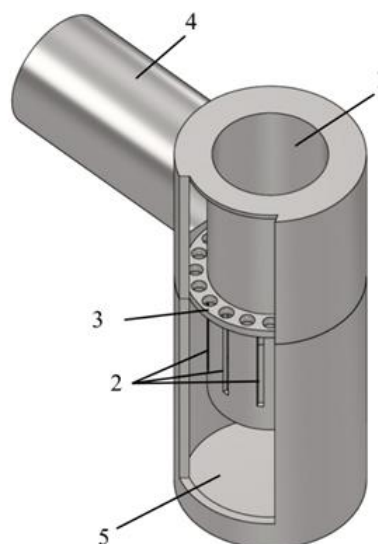


Рисунок 1 – Центробежный классификатор: 1 – патрубок входной; 2 – прорези; 3 – решетка с отверстиями; 4 – патрубок выходной; 5 – бункер

Стоит отметить, что при повороте газа с частицами из внутренней трубы в межтрубное пространство через прорези часть частиц выпадет из запыленной среды ввиду влияния инерционных сил и падает вниз в бункер б через отверстие, проделанное в нижней части внутренней трубы.

**Цель исследований.** Оценить эффективность центробежного классификатора при фракционировании мелкодисперсных порошков.

**Материалы и методы исследований.** Исследование выполнялось с помощью численного моделирования. Для этого строилась трехмерная модель, далее проводилась генерация сеточной модели и задавались граничные и начальные условия. Применялось программное обеспечение Ansys Fluent.

Размер наружной и внутренней трубы классификатора составлял 100 и 66 мм соответственно, внутренний диаметр входного и выходного патрубка составлял 60 и 55 мм соответственно, высота аппарата составляет 239 мм. В ходе исследований варьировалась высота прорезей  $h_1$  от 15 до 35 мм. При численных расчетах изменялась скорость на входе от 8 до 16 м/с. На выходе из аппарата задавалось давление, которое равнялось атмосферному. Размер частиц мелкодисперсного порошка изменялся от 1 до 100 мкм.

Эффективность центробежного классификатора  $E$  оценивалась по выражению (1):

$$E = 1 - \frac{n_{\text{outlet.particles}}}{n_{\text{inlet.particles}}}, \quad (1)$$

Где  $n_{\text{outlet.particles}}$ ,  $n_{\text{inlet.particles}}$  – количество частиц на выходе из устройства и на входе в него соответственно, шт.

**Результаты исследований.** Разработанный центробежный классификатор позволяет с высокой эффективностью фракционировать мелкодисперсные порошки с крупностью граничного зерна 40-60 мкм при входной скорости равной от 8 до 16 м/с. При размере частиц до 35-40 мкм эффективность классификатора составляет до 10 %. С увеличением размера происходит резкий рост эффективности. Повышение входной скорости газового потока от 8 до 16 м/с приводит к увеличению эффективности классификации, т. к. резкость повышения эффективности в области крупности граничного зерна увеличивается. Очевидно, что с повышением скорости возрастает действие центробежных сил на частицы

в пространстве между труб. В результате частицы меньших размеров выбиваются из завихренных потоков эффективнее и далее падают в бункер классификатора. При увеличении высоты прорези  $h_1$  до 35 мм и более эффективность классификации ухудшается. Это вызвано тем, что выходная скорость газа из прорезей снижается, т.к. увеличивается площадь проходного сечения, что приводит к уменьшению действия центробежных сил на частицы.

При высоте прорезей  $h_1$  равной 15 мм эффективность мультивихревого классификатора при улавливании частиц до 40 мкм в среднем составляет 1,8, 2,3, 3,3 % при входной скорости 8, 12 и 16 м/с соответственно. При размере частиц более 35 мкм эффективность возрастает скачкообразно. В среднем частицы крупнее 40 мкм улавливаются классификатором с эффективностью 75,3, 81,2, и 84,9 % при входной скорости 8, 12 и 16 м/с соответственно (рис. 2).

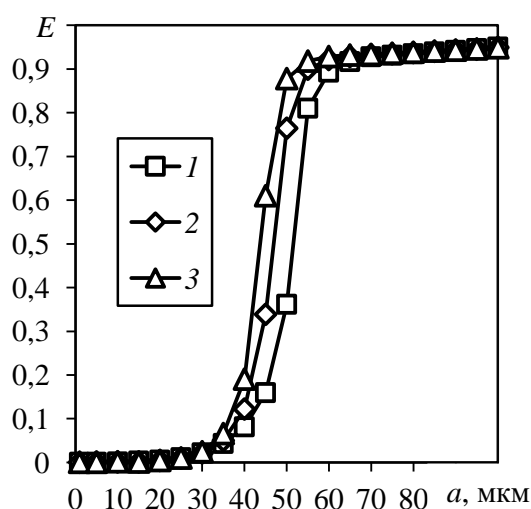


Рисунок 2 – Влияние эффективности центробежного мультивихревого классификатора от размера частиц при различной входной скорости газа  $W$ , м/с: 1 – 8; 2 – 12; 3 – 16.

Высота прорезей  $h_1$  составляет 15 мм

При высоте прорезей 25 мм средняя эффективность улавливания частиц размером до 40 мкм при входной скорости газа 8, 12 и 16 м/с составляет 1,9, 2,2 и 3,1% соответственно. При размере частиц более 40

мкм при скорости подачи газа 8, 12 и 16 м/с эффективность в среднем составляет 81,1, 75,5 и 84,9 % соответственно (рис. 3).

При высоте  $h_1$  заданной 35 мм достигаются наименьшие значения эффективности. При улавливании частиц до 40 мкм эффективность в среднем составляет 1,6, 1,6 и 1,7 % при входной скорости 8, 12 и 16 м/с соответственно. При размере частиц более 40 мкм эффективность составляет в среднем до 65 % при скоростях 8-16 м/с (рис. 4).

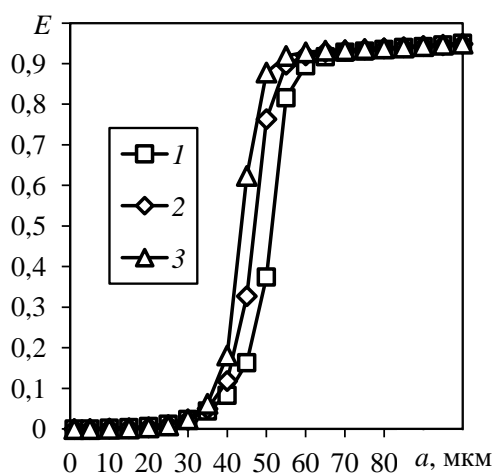


Рисунок 3 – Влияние эффективности центробежного мультивихревого классификатора от размера частиц при различной входной скорости газа  $W$ , м/с: 1 – 8; 2 – 12; 3 – 16.

Высота прорезей  $h_1$  составляет 25 мм

Соппротивление классификатора составляет от 560 до 2140 Па при скорости 8 – 16 м/с и высоте прорезей 15-35 мм.

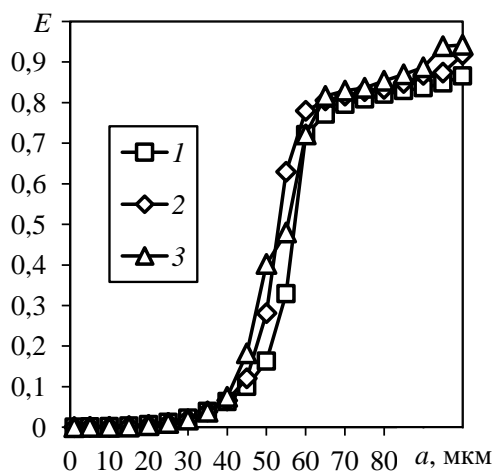


Рисунок 4 – Влияние эффективности центробежного мультивихревого классификатора от размера частиц при различной входной скорости газа  $W$ , м/с: 1 – 8; 2 – 12; 3 – 16.

Высота прорезей  $h_1$  составляет 35 мм

**Выводы.** 1. В пространстве между труб возникает мультивихревая система, позволяющая осуществлять фракционирование частиц с высокой эффективностью. 2. Повышение входной скорости газового потока от 8 до 16 м/с приводит к увеличению эффективности классификации, т. к. резкость повышения эффективности в области крупности граничного зерна увеличивается. 3. Максимальная эффективность фракционирования достигается при высоте прорезей равной менее 35 мм. 4. Гидравлическое сопротивление классификатора составляет от 560 до 2140 Па при скорости 8 – 16 м/с и высоте прорезей 15-35 мм.

#### Библиографический список

1. Головин Александр Юрьевич, Прокопов Сергей Петрович Интенсификация процесса сепарации зерна // Вестник ОмГАУ. 2015. №2 (18).
2. Зинуров Вадим Эдуардович, Дмитриев Андрей Владимирович, Дмитриева Оксана Сергеевна, Мугинов Арслан Маратович Влияние конструктивного оформления статического мультивихревого классификатора на эффективность фракционирования частиц силикагеля // Башкирский химический журнал. – 2023. – Т. 30, № 4. – С. 99-106. – DOI 10.17122/bcj-2023-4-99-106. – EDN VIAMON.
3. Терехова Ольга Николаевна, Глебов Александр Александрович, Дуюнова Яна Сергеевна Тонкая воздушная сепарация дисперсных частиц в процессах переработки зерна // Вестник АГАУ. 2019. №5 (175).

#### References

1. Golovin Aleksandr Jur'evich, Prokopov Sergej Petrovich Intensifikacija processa separacii zerna // Vestnik OmGAU. 2015. №2 (18).
2. Zinurov Vadim Jeduardovich, Dmitreev Andrej Vladimirovich, Dmitrieva Oksana Sergeevna, Muginov Arslan Maratovich Vlijanie konstruktivnogo oformlenija staticheskogo mul'tivihrevogo klassifikatora na jeffektivnost' frakcionirovanija chastic silikagelja // Bashkirskij himicheskij zhurnal. – 2023. – T. 30, № 4. – S. 99-106. – DOI 10.17122/bcj-2023-4-99-106. – EDN VIAMON.
3. Terehova Ol'ga Nikolaevna, Glebov Aleksandr Aleksandrovich, Dujunova Jana Sergeevna Tonkaja vozdušnaja separacija dispersnyh chastic v processah pererabotki zerna // Vestnik AGAU. 2019. №5 (175).