

УДК 621.928.6

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

**ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ
ВИХРЕВОЙ СТРУКТУРЫ В
ЦЕНТРОБЕЖНОМ СЕПАРАТОРЕ ДЛЯ
УЛАВЛИВАНИЯ ПИЩЕВОЙ ПЫЛИ ИЗ
ГАЗА**

Шаймарданов Ансель Ренатович
студент
Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

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

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

Волкова Мария Михайловна
Канд.техн.наук
Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань, Россия

Большаков Игорь Александрович
Магистрант
SPIN – код автора: 3212-6163
Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

В статье рассмотрена проблема улавливания частиц пищевой пыли из газа. Показана значимость проблемы для агропромышленного комплекса. Рассмотрены различные конструкции устройства для очистки газов. Предложена конструкция центробежного сепаратора с коаксиальными цилиндрами. Целью работы является проведение исследования устойчивости вихревой структуры в межцилиндрическом пространстве в зависимости от конструктивных параметров сепаратора. Исследование проводилось с помощью численного моделирования. При проведении исследования изменялся диаметр внутреннего цилиндра, что приводило к сужению пространства между цилиндрами и увеличению количества завихрений в нем. Результаты исследования показали, что наилучшая вихревая структура наблюдается при количестве завихрений – 16 шт. Сужение пространства между цилиндрами за счет

UDC 621.928.6

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

**STUDY OF THE STABILITY OF VORTEX
STRUCTURE IN A CENTRIFUGAL
SEPARATOR FOR CAPTURING FOOD DUST
FROM GAS**

Shaimardanov Ansel Renatovich
student
Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

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

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

Volkova Mariya Mikhailovna
Cand.Tech.Sci.
Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia

Bolshakov Igor Alexandrovich
Master's Degree student
RSCI SPIN-code: 3212-6163
Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

The article explores the challenge of capturing food dust particles from gases. It highlights the significance of this issue within the agro-industrial sector. Various device designs for gas purification are reviewed. A design featuring a centrifugal separator with coaxial cylinders is proposed. The aim of the study is to investigate the stability of the vortex structure within the inter-cylindrical space, depending on the separator's design parameters. The research was conducted using numerical modeling. Throughout the study, the diameter of the inner cylinder was altered, which led to a reduction in the space between the cylinders and an increase in the number of vortices. The findings indicate that the optimal vortex structure occurs with 16 swirls. Reducing the inter-cylindrical space by increasing the diameter of the inner cylinder enhances the stability of the vortex structure. The values of the maximum deviation of the vortex center from its calculated axis of rotation vary with the number of swirls,

увеличения диаметра внутреннего цилиндра улучшает устойчивость вихревой структуры. Значения максимального отклонения центра вихря от расчетной оси его вращения варьируются в зависимости от количества завихрений, показывая улучшение с увеличением их числа. Максимальные отклонения составили 0,47, 0,42 и 0,21 при 8, 12 и 16 завихрениях соответственно

Ключевые слова: ЦЕНТРОБЕЖНЫЙ СЕПАРАТОР, ПИЩЕВАЯ ПЫЛЬ, КОАКСИЛЬНЫЕ ЦИЛИНДРЫ, ЗЕРНОВАЯ ПЫЛЬ, ВИХРЕВАЯ СТРУКТУРА, ЗАВИХРЕНИЯ, УСТОЙЧИВОСТЬ ВИХРЕЙ

demonstrating improvements as their number increases. The maximum deviations recorded were 0.47, 0.42, and 0.21 for 8, 12, and 16 swirls, respectively

Keywords: CENTRIFUGAL SEPARATOR, FOOD DUST, COAXIAL CYLINDERS, GRAIN DUST, VORTEX STRUCTURE, SWIRLS, VORTEX STABILITY

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-199-027>

Введение. В агропромышленном комплексе важной задачей является осуществление послеуборочной обработки зерен, то есть очистки зернового вороха от различных примесей, остатков оболочек или пыли. Данный этап производства зерновой культуры является одной из наиболее энергозатратных и важных операций, поэтому увеличение темпов развития данной отрасли во многом зависит от совершенства и эффективности рассматриваемой технологии [3].

Наличие высокой концентрации зерновой пыли в воздухе может привести к негативным последствиям, так как органическая пыль взрывопожароопасна и может стать причиной вторичного взрыва при возникновении, по каким-либо причинам, пламени. С другой стороны зерновая пыль представляет собой смесь растительных остатков, частей насекомых, химических веществ, грибов, бактерий, плесени, кремнезема и метаболитов и способна вызвать аллергическую реакцию, токсический синдром органической пыли или труднодиагностируемые заболевания, например, пневмонит. К тому же повышенный уровень запыленности негативно сказывается на режимах и условиях эксплуатации, что сокращает срок службы технологического оборудования и строительных конструкций. По этой причине возрастают затраты на обслуживание и

<http://ej.kubagro.ru/2024/05/pdf/27.pdf>

ремонт, а также замену оборудования. Именно поэтому развитие технологий по очистке воздуха от пыли является актуальной задачей.

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

В основе принципа действия механических сепараторов зерна лежит колебание кузова, при чём движения могут быть как круговыми, так и плоскопараллельными. Такие аппараты позволяют отделять крупный и мелкий сор от зернового продукта.

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

В электро-зерноочистительных 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 [2] 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 предлагается конструкция центробежного сепаратора с коаксильными цилиндрами (рис. 1, *a*), который может быть использован в качестве дополнительного аппарата в технологической линии или технологическом узле для фильтрации воздуха от пыли в агропромышленном комплексе. Важным его преимуществом является

возможность улавливать частицы с высокой эффективностью при сверхмалых скоростях газа, как следствие, потери давления не превышают 50 Па. Улавливание частиц осуществляется за счет действия на них инерционных и центробежных сил. Поток газа с частицами поступает в центробежный сепаратор с коаксильными цилиндрами через нижнее отверстие 1. По мере своего движения запыленный газ делится на 2 потока, одна часть проходит между цилиндрами 2 и 6, другая часть поступает во внутренний цилиндр 6, в стенках которого проделаны отверстия 5, через которые газ поступает в межцилиндрическое пространство. Конструктивно они выполнены так, что запыленный газ завихряется в пространстве между цилиндрами [1]. Под действием инерционных и центробежных сил частицы отбрасываются из газа к стенкам, в которых проделаны полости для их сбора (на рисунке 1 данные полости не указаны ввиду упрощения модели для численного моделирования). Очищенный от частиц газ покидает устройство через отверстие 3, предварительно проходя через перегородку с отверстиями 7.

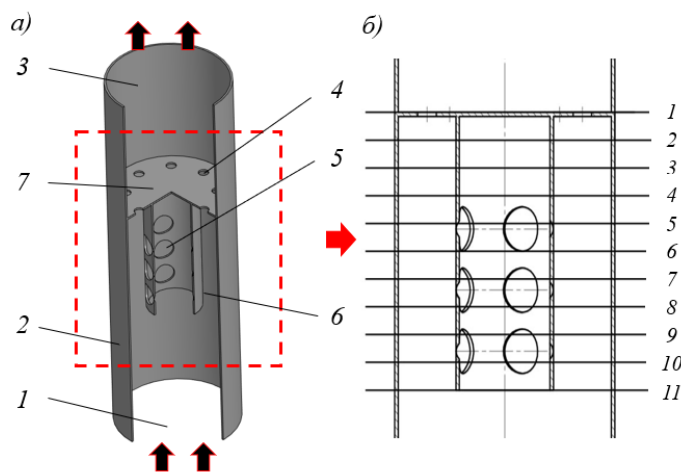


Рисунок 1 – а) Упрощенная модель центробежного сепаратора с коаксильными цилиндрами: 1 – вход в устройство; 2 – наружный цилиндр; 3 – выход из устройства; 4 – массив круглых отверстий; 5 – отверстия для завихрения газа; 6 – внутренний цилиндр; 7 – перегородка с отверстиями; б) Расположение плоскостей для исследования окружных скоростей

Недостатком данного устройства является негативное воздействие восходящего потока газа в межцилиндрическом пространстве на завихрения, который способен приводить к их разрушения и частичному смещению относительно оси вращения, что приводит к снижению эффективности.

Цель исследований. Исследовать устойчивость вихревой структуры в межцилиндрическом пространстве в зависимости от конструктивных параметров сепаратора.

Материалы и методы исследований. Для проведения исследований была использована программа для численных расчетов – Ansys Fluent. В качестве объекта исследования выступала модель центробежного сепаратора, представленная на рисунке 1, *а*. Ее основные геометрические параметры: ширина, высота и глубина устройства – 92, 300 и 92 мм соответственно. В ходе исследований изменялся диаметр внутреннего цилиндра (42, 54 и 63 мм), что приводило к увеличению количества завихрений и отверстий в перегородке (8, 12 и 16 шт.), изменению диаметра отверстий во внутреннем цилиндре (16, 13, 14 мм). На основе трехмерной модели генерировалась сеточная модель. При численном моделировании на входном патрубке задавалась скорость газа $V_{вх}$ равная 0,017 м/с.

Устойчивость вихревой структуры в межцилиндрическом пространстве оценивалась по профилю безразмерной окружной компоненты скорости газа $V_y / V_{вх}$ на различных расстояниях от перегородки Δh , мм. Для этого было создано 11 плоскостей с шагом 10 мм (рис. 1, *б*). На каждой плоскости создавалась локальная система координат с центром, который совпадал с расчетной осью вращения вихря.

Результаты исследований. В ходе исследований было установлено, что изменение диаметра внутреннего цилиндра центробежного сепаратора существенным образом влияет на устойчивость вихревой структуры и ее

образование в межцилиндрическом пространстве при сверхмалых скоростях газового потока. Увеличение внутреннего диаметра цилиндра при неизменном диаметре наружного цилиндра приводит к сужению пространства между цилиндрами. Ввиду этого уменьшается диаметр завихрений и увеличивается их количество. По рисункам 2-4 видно, что с уменьшением диаметра завихрений (увеличением их количества) устойчивость вихревой структуры улучшается. В частности, с уменьшением диаметра завихрений увеличивается количество кривых, характеризующих профили безразмерной окружной компоненты скорости газа на различных расстояниях от перегородки, проходящих через центральную точку графиков, что является свидетельством идеальной вихревой структуры. Иными словами, центр каждого вихря на определенной высоте, определяемой соответствующей плоскостью (рис. 1, б), совпадает с расчетной осью вихря.

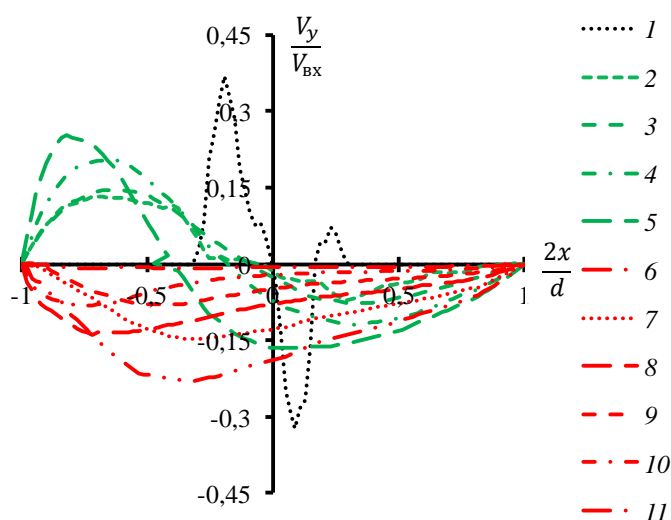


Рисунок 2 – Профили безразмерной окружной компонент скорости газа на различных расстояниях от перегородки Δh , мм: 1 – 0; 2 – 10; 3 – 20; 4 – 30; 5 – 40; 6 – 50; 7 – 60; 8 – 70; 9 – 80; 10 – 90; 11 – 100. Количество завихрений – 8 шт.

Также получено, что наиболее идеальная вихревая структура достигается в пространстве между перегородкой и верхними круглыми отверстиями, проделанными во внутреннем цилиндре (кривые зеленого

цвета), т. к. в данной области она наименее подвержена разрушению из-за восходящих потоков газа. Максимальное отклонение центра вихря от расчетной оси его вращения по безразмерной координате $2x/d$ по модулю составило 0,47 (кривые зеленого цвета) (рис. 2).

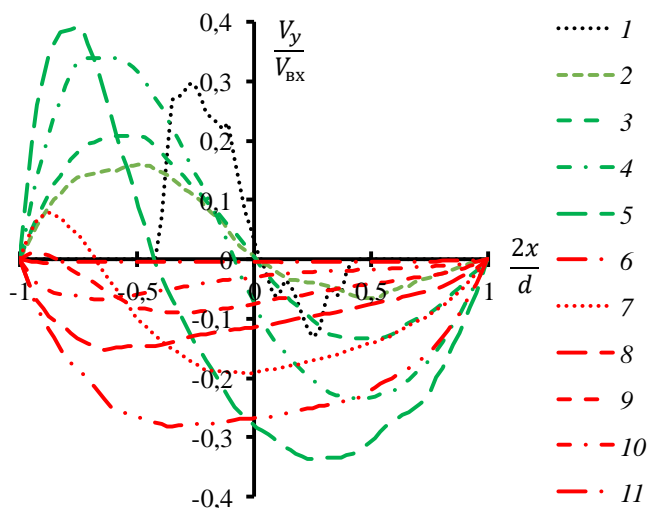


Рисунок 3 – Профили безразмерной окружной компонент скорости газа на различных расстояниях от перегородки Δh , мм: 1 – 0; 2 – 10; 3 – 20; 4 – 30; 5 – 40; 6 – 50; 7 – 60; 8 – 70; 9 – 80; 10 – 90; 11 – 100. Количество завихрений – 12 шт.

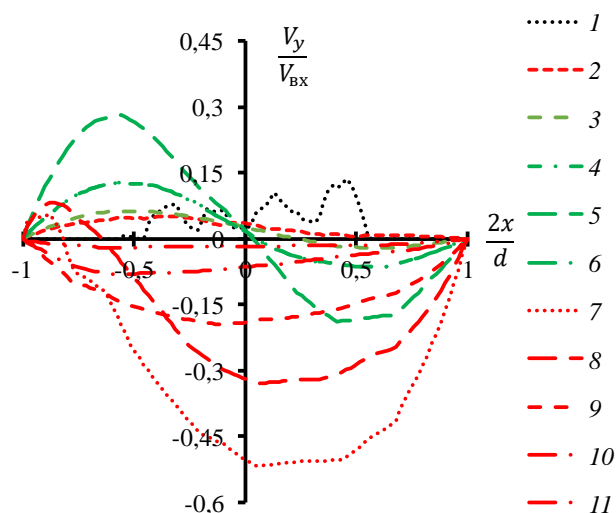


Рисунок 4 – Профили безразмерной окружной компонент скорости газа на различных расстояниях от перегородки Δh , мм: 1 – 0; 2 – 10; 3 – 20; 4 – 30; 5 – 40; 6 – 50; 7 – 60; 8 – 70; 9 – 80; 10 – 90; 11 – 100. Количество завихрений – 16 шт.

При увеличении количества завихрений с 8 шт. (рис. 2) до 12 шт. (рис. 3) путем изменения внутреннего диаметра от 42 до 54 мм максимальное отклонение центра вихря от расчетной оси его вращения по безразмерной координате $2x/d$ по модулю составило 0,42 (зеленые кривые). При этом остальные зеленые кривые сместились ближе к центральной точке графика (рис. 3). При количестве завихрений 16 шт. максимальное отклонение центра вихря от расчетной оси его вращения по безразмерной координате $2x/d$ по модулю составило 0,21 (кривые зеленого цвета) (рис. 4).

Разработанный центробежный сепаратор (рис. 1) может найти широкое применение в агропромышленном секторе.

Выводы. 1. Уменьшение диаметра завихрений в пространстве между цилиндрами способствует улучшению устойчивости вихревой структуры. 2. Наилучшая вихревая структура достигается при количестве завихрений 16 шт. 3. Максимальное отклонение центра вихря от расчетной оси его вращения по безразмерной координате $2x/d$ по модулю составило 0,47, 0,42 и 0,21 при количестве завихрений 8, 12 и 16 шт. соответственно.

Библиографический список

1. Зинуров В. Э., Дмитриев А. В., Дмитриева О. С., Мугинов А. М. 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.
2. Терехова О.Н., Глебов А.А., Дуюнова Я.С. Тонкая воздушная сепарация дисперсных частиц в процессах переработки зерна // Вестник АГАУ. 2019. №5 (175). – С. 140-147.
3. Черняков А.В. и др. Исследование сепаратора с горизонтальным воздушным потоком // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2021. – №. 3 (43). – С. 145-154.

References

1. Zinurov V.E., Dmitriev A. V., Dmitrieva O. S., Muginov A. M. 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 VIAMOH.

2. Terehova O.N., Glebov A.A., Dujunova Ja.S. Tonkaja vozdušnaja separacija dispersnyh chastic v processah pererabotki zerna // Vestnik AGAU. 2019. №5 (175). – S. 140-147.

3. Chernjakov A.V. i dr. Issledovanie separatora s gorizontaľnym vozdušnym potokom //Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2021. – №. 3 (43). – S. 145-154.