

УДК 621.928.6

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

### **АНАЛИЗ ОСЕВОЙ СКОРОСТИ В МУЛЬТИВИХРЕВОМ УСТРОЙСТВЕ ДЛЯ УЛАВЛИВАНИЯ ПИЩЕВОЙ ПЫЛИ ИЗ ВОЗДУХА**

Хамитова Динара Вилевна  
Канд. техн. наук, доцент  
SPIN – код автора: 7877-0874  
*Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия*

Шаймарданов Ансель Ренатович  
Студент  
SPIN – код автора: 1055-1760  
*Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия*

Чернова Олеся Станиславовна  
Магистрант  
*Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия*

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

В статье рассматривается актуальная проблема для агропромышленного сектора, заключающаяся в очистке воздуха от частиц пищевой пыли. Проведен литературный анализ используемых решений. Представлены описания и рассмотрены принципы действия различных пылеуловительных устройств. В работе предложена новая пылеуловительная конструкция мультिवихревого сепарационного модуля, которая вставляется в цилиндрический канал, образуя конструкцию типа «труба в трубе». Цель работы заключается в исследовании вихревой структуры в межтрубном пространстве сепарационного модуля в зависимости от количества вихрей. В ходе исследований было установлено, что увеличение количества вихрей значительно повышает осевую скорость воздуха и способствует более эффективному отделению твердых частиц, снижая их содержание в выходящем воздухе. Оптимальные результаты были достигнуты при использовании конструкции, в которой создается 16 завихрений. Исследование подтвердило, что правильное распределение вихрей может значительно улучшить производительность сепарационных модулей, снижая энергетические затраты и

UDC 621.928.6

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

### **ANALYSIS OF AXIAL VELOCITY IN A MULTIVORTEX DEVICE FOR CAPTURING FOOD DUST FROM AIR**

Khamitova Dinara Vilevna  
Cand.Tech.Sci., associate professor  
RSCI SPIN-code: 7877-0874  
*Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia*

Shaimardanov Ansel Renatovich  
Student  
RSCI SPIN-code: 1055-1760  
*Kazan State Power Engineering University Kazan, Russia*

Chernova Olesya Stanislavovna  
Master's Degree student  
*Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia*

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

The article addresses a pressing issue for the agro-industrial sector, which involves the purification of air from particles of food dust. A literature review of the solutions used has been conducted. Descriptions and principles of operation of various dust collection devices are presented. The work proposes a new dust collection design of a multivortex separation module, which is inserted into a cylindrical channel, forming a "pipe-in-pipe" type structure. The aim of the study is to investigate the vortex structure in the inter-tubular space of the separation module depending on the number of swirls. The research found that increasing the number of swirls significantly raises the axial speed of the air and enhances the more efficient separation of solid particles, reducing their content in the outgoing air. Optimal results were achieved using a design that creates 16 swirls. The study confirmed that proper distribution of swirls can significantly improve the performance of separation modules, reducing energy costs and increasing the overall efficiency of the system

повышая общую эффективность системы

Ключевые слова: СЕПАРАЦИОННЫЙ МОДУЛЬ, МУЛЬТИВИХРЕВАЯ СТРУКТУРА, ПИЩЕВАЯ ПЫЛЬ, ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЬ, ЗАПЫЛЕННЫЙ ГАЗ, ТВЕРДЫЕ ЧАСТИЦЫ, СЕПАРАЦИЯ

Keywords: SEPARATION MODULE, MULTIVORTEX STRUCTURE, FOOD DUST, DUST COLLECTOR, DUSTY GAS, SOLID PARTICLES, SEPARATION

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-200-030>

**Введение.** В современном агропромышленном секторе актуальной задачей является обеспечение послеуборочной очистки урожая от примесей, таких как частицы оболочек и пыли. Этот этап производства зерновых культур считается одним из наиболее затратных по энергопотреблению, и его эффективность напрямую влияет на темпы развития зерноперерабатывающей отрасли. Важно отметить, что высокая концентрация пыли в атмосфере не только снижает качество воздуха, но и представляет серьёзные риски взрывоопасности и возгорания. К тому же, зерновая пыль может вызывать аллергические и токсические реакции, а также способствовать развитию заболеваний дыхательных путей. Повышенный уровень загрязнения также негативно влияет на техническое состояние и долговечность оборудования, что влечёт за собой увеличение расходов на техническое обслуживание и ремонт. С учетом этих аспектов, разработка и совершенствование технологий для очистки воздуха от пыли являются актуальными задачами. Особое значение приобретает изучение сепарационных устройств, которые позволяют эффективно улавливать пылевые частицы, снижая таким образом риски и повышая безопасность производственных процессов.

**Состояние исследований и актуальность проблемы.** На текущий момент существует множество технологий очистки воздуха, включая механические, пневматические и электростатические системы.

Механические фильтры применяют различные фильтрующие материалы для задерживания частиц пыли и других загрязнителей воздуха. Эти системы варьируются от простых сетчатых фильтров до более

<http://ej.kubagro.ru/2024/06/pdf/30.pdf>

сложных многоступенчатых фильтрационных устройств с использованием волокнистых материалов. Механические фильтры эффективны для улавливания крупных и средних частиц и часто используются как первая ступень в многоступенчатых системах очистки.

Пневматические или аэродинамические сепараторы работают на принципе разделения частиц по их аэродинамическим свойствам. В этих системах загрязненный воздух проходит через специально разработанные каналы или камеры, где поток воздуха изменяется таким образом, чтобы тяжелые частицы отделялись от потока за счет инерции или центробежных сил. Этот метод особенно эффективен для удаления мелкодисперсных частиц и часто применяется в промышленных и агропромышленных приложениях.

Электростатические фильтры используют электрическое поле для ионизации частиц в загрязненном воздухе. Ионизированные частицы притягиваются к заряженным коллекторским пластинам, где они оседают и удаляются из воздушного потока.

Важным аспектом выбора подходящей технологии является соотношение между стоимостью установки и эксплуатации, степенью необходимой очистки, а также воздействием на окружающую среду и потребление энергии. Можно отметить центробежные сепараторы, т. к. они способны эффективно улавливать частицы при минимальных затратах энергии и меньшем воздействии на окружающую среду. Эти устройства используют центробежные силы для отделения твердых частиц от воздушного потока, что позволяет значительно снизить концентрацию пыли в выхлопных газах.

Исследования в области усовершенствования центробежных сепараторов активно развиваются. Например, современные модели сепараторов часто оснащаются дополнительными коаксиальными

цилиндрами для улучшения устойчивости вихревой структуры и повышения эффективности улавливания частиц [2].

Авторами работы был разработан мультивихревой сепарационный модуль (рис. 1), который вставляется в цилиндрический канал, образуя конструкцию типа «труба в трубе». Такой модуль может быть использован после сушилок для зерна, в системах вентиляции зернохранилищ и др. местах.



Рисунок 1 – Мультивихревой сепарационный модуль

Принцип действия заключается в следующем. Поток газа с пищевой пылью и иными частицами движется снизу вверх. При этом большая часть запыленного воздуха попадает во внутреннее пространство сепарационного модуля. По инерции поток распределяется по отверстиям круглого сечения, сделанных в цилиндрической стенке. За счет особого конструктивного расположения запыленный воздух, проходя через них, завихряется в межтрубном пространстве, образуя упорядоченную вихревую структуру [1]. Воздух, вращаясь, заставляет твердые частицы, такие как пыль, двигаться к внешним стенкам цилиндра под действием центробежной силы. Частицы, из-за своей большей массы по сравнению с воздухом, не могут следовать за изгибами потока. Отделенные от потока

воздуха частицы оседают на стенках или специально предусмотренных коллекторах в нижней части сепаратора, откуда их можно регулярно удалять. Очищенный от частиц воздух продолжает движение через отверстия, сделанные в пластине, в верхней части устройства.

**Цель исследований.** Исследовать вихревую структуру в межтрубном пространстве сепарационного модуля в зависимости от количества вихрей.

**Материалы и методы исследований.** Для проведения исследований использовалась программа численных расчетов – Ansys Fluent. Исследование проводилось на ранее построенной трехмерной модели мультивихревого сепарационного модуля, представленного на рисунке 1. Основные размеры устройства: ширина и глубина – 92 мм, высота – 300 мм. Для получения выборки данных изменялись диаметры внутреннего цилиндра: 42, 54 и 63 мм, что влияло на увеличение количества завихрений и отверстий как во внутреннем цилиндре, так и в верхней пластине (8, 12 и 16 шт. соответственно), а также на изменение диаметров отверстий внутреннего цилиндра (16, 13, 14 мм соответственно). На основе 3D моделей генерировались сеточные модели. В процессе численного моделирования скорость газа на входном патрубке составляла 0,017 м/с.

При исследовании вихревой структуры в межтрубном пространстве оценивались профили безразмерной осевой компонент скорости воздуха на различном расстоянии от начала сепарационной зоны (входа в сепарационной модуль)  $V_z / V_{вх}$ . На каждой из этих плоскостей была задана локальная система координат, центр которой выравнивался с предполагаемой осью вращения вихря.

**Результаты исследований.** Анализ профилей безразмерной осевой компоненты скорости воздуха в мультивихревом сепарационном модуле (рис. 2-4) показывает, что увеличение количества вихрей в

межтрубном пространстве исследуемого устройства ведет к значительному повышению осевой скорости воздуха и, как следствие, росту общей эффективности сепарации. Увеличение количества вихрей обеспечивает более эффективное отделение твердых частиц от воздушного потока, что ведет к снижению содержания частиц в выходящем воздухе. Высокие показатели эффективности наблюдаются при использовании конструкции устройства, в которой создается 16 вихрей (рис. 4), что делает эту конфигурацию мультивихревого сепарационного модуля наиболее предпочтительной.

Максимальная осевая скорость воздуха достигается приблизительно в середине сепарационной зоны. Это вызвано тем, что поток газа устремляется при своем движении в отверстия круглого сечения, которые проделаны в пластине. Скорость уменьшается по мере удаления от центра к краям модуля.

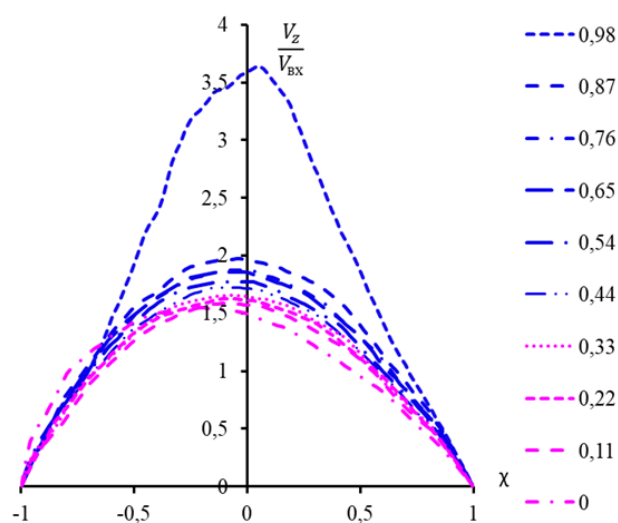


Рисунок 2 – Профили безразмерной осевой компоненты скорости воздуха на различном расстоянии от начала сепарационной зоны (входа в сепарационный модуль).

Количество вихрей в межтрубном пространстве – 8 шт.

Можно отметить, чем ближе к началу сепарационной зоны располагается исследуемая плоскость, тем профиль, характеризующий распределение безразмерной осевой скорости воздуха, становится более

плоским, что указывает на уменьшение эффективности сепарации при уменьшении количества вихрей. Значения безразмерной осевой компоненты скорости воздуха в среднем составляет 1, 1,1, 1,2, 1,9 при удалении исследуемой плоскости от начала сепарационной зоны на 10, 40, 70 и 90 мм соответственно (рис. 2).

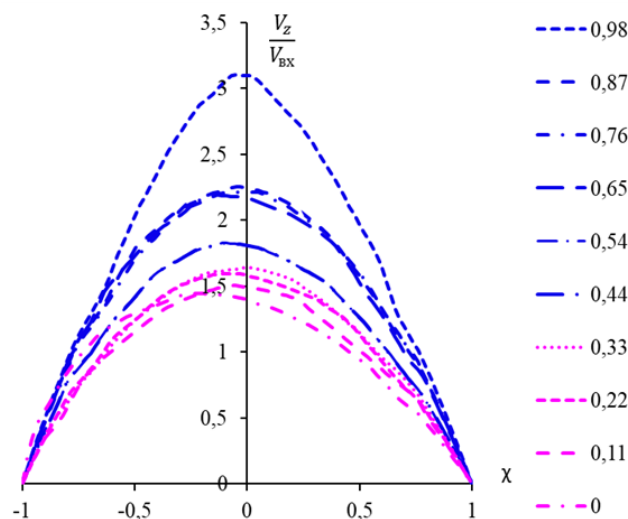


Рисунок 3 – Профили безразмерной осевой компоненты скорости воздуха на различном расстоянии от начала сепарационной зоны (входа в сепарационной модуль).

Количество вихрей в межтрубном пространстве – 12 шт.

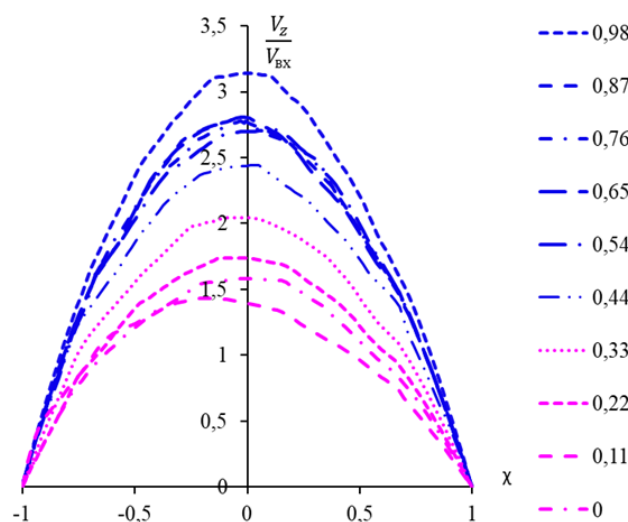


Рисунок 4 – Профили безразмерной осевой компоненты скорости воздуха на различном расстоянии от начала сепарационной зоны (входа в сепарационной модуль).

Количество вихрей в межтрубном пространстве – 16 шт.



По мере увеличению количества завихрений (рис. 3-4) до 16 шт. наблюдается более высокая осевая скорость воздуха. Профили скорости показывают более выраженную пиковую структуру в центре, что свидетельствует об улучшении сепарационной эффективности устройства.

**Выводы.** 1. Предлагаемая модульная конструкция мультивихревого сепарационного устройства позволяет создавать устойчивые завихрения при низких входных скоростях газа, что снижает энергетические затраты на процесс очистки. 2. С увеличением количества вихрей улучшается сепарационная способность устройства. Из рассматриваемых конструкций наиболее эффективным является устройство, в котором образуется 16 завихрений.

#### Библиографический список

1. 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. – DOI 10.17122/bcj-2023-4-99-106.

2. Повышение энергоэффективности технологических линий по получению аэросила путем установки сепаратора с соосно расположенными трубами / В. Э. Зинуров, А. В. Дмитриев, Г. Р. Бадретдинова, Р. Я. Биккулов // Промышленная энергетика. – 2022. – № 4. – С. 29-35. – DOI 10.34831/EP.2022.26.75.004.

#### Библиографический список

1. Vliyanie konstruktivnogo oformleniya staticheskogo mul'tivihrevogo klassifikatora na effektivnost' frakcionirovaniya chastic silikagelya / V. E. Zinurov, A. V. Dmitriev, O. S. Dmitrieva, A. M. Muginov // Bashkirskij himicheskij zhurnal. – 2023. – T. 30, № 4. – Pp. 99-106. – DOI 10.17122/bcj-2023-4-99-106.

2. Povyshenie energoeffektivnosti tekhnologicheskikh linij po polucheniyu aerosila putem ustanovki separatora s soosno raspolozhennymi trubami / V. E. Zinurov, A. V. Dmitriev, G. R. Badretdinova, R. YA. Bikkulov // Promyshlennaya energetika. – 2022. – № 4. – Pp. 29-35. – DOI 10.34831/EP.2022.26.75.004.