

УДК 621.928.6

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

ОЧИСТКА ВОЗДУХА ОТ ПИЩЕВОЙ ПЫЛИ СЕПАРАЦИОННЫМ УСТРОЙСТВОМ С ДУГООБРАЗНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

Зинуров Вадим Эдуардович

Канд. техн. наук

SPIN – код автора: 1564-3438

Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

Коньшева Анна Витальевна

студент

Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

Нафиков Инсаф Рафитович

Канд. техн. наук

SPIN – код автора: 7227-8017

Казанский государственный аграрный университет Казань, Россия

Лушнов Максим Александрович

Канд. техн. наук

SPIN – код автора: 9391-6897

Казанский государственный аграрный университет Казань, Россия

Кулай Иван Геннадьевич

аспирант

SPIN – код автора: 7319-6613

Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

В статье рассмотрена проблема очистки запыленного воздуха от частиц пищевой пыли. Проанализировано сепарационное оборудование, применяющееся для решения данной проблемы: циклоны, пылеосадительные камеры и др. Предложено новое сепарационное устройство с дугообразными элементами. Описан принцип действия. Целью работы является оценить влияние количества рядов дугообразных элементов и их диаметра на эффективность улавливания мелкодисперсных частиц пищевой пыли сепарационным устройством из запыленного воздуха. Исследования проводились с помощью численного моделирования. В ходе исследований варьировались диаметр элементов от 20 до 60 мм, количество рядов дугообразных элементов от 5 до 12 шт. и входная скорость газа от 0,5 до 3 м/с. При определенных условиях (скорости газа 0,5 м/с и количества рядов элементов более 10 шт.) устройство демонстрирует эффективность (при размере

UDC 621.928.6

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

AIR PURIFICATION FROM FOOD DUST BY A SEPARATION DEVICE WITH ARC-SHAPED ELEMENTS

Zinurov Vadim Eduardovich

Cand.Tech.Sci.

RSCI SPIN-code: 1564-3438

Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

Konysheva Anna Vitalevna

Student

Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

Nafikov Insaf Rafitovich

Cand.Tech.Sci.

RSCI SPIN-code: 7227-8017

Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia

Lushnov Maksim Aleksandrovich

Cand.Tech.Sci.

RSCI SPIN-code: 9391-6897

Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia

Kulai Ivan Gennadevich

Postgraduate student

RSCI SPIN-code: 7319-6613

Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

The article considers the problem of cleaning dusty air from food dust particles. The separation equipment used to solve this problem is analyzed: cyclones, dust chambers, etc. A new separation device with arc-shaped elements has been proposed. The principle of operation is described. The aim of the work is to evaluate the effect of the number of rows of arc-shaped elements and their diameter on the efficiency of capturing fine particles of food dust by a separation device from dusty air. The research was carried out using numerical modeling. During the research, the diameter of the elements varied from 20 to 60 mm, the number of rows of arc-shaped elements from 5 to 12 pieces. and the inlet gas velocity is from 0.5 to 3 m/s. Under certain conditions (gas velocity 0.5 m/s and the number of rows of elements more than 10 pcs.), the device demonstrates an efficiency (with a particle size of less than 30 microns) of more than 50% with pressure losses up to 20 Pa.

частиц менее 30 мкм) более 50% при потерях давления до 20 Па.

Ключевые слова: ПИЩЕВАЯ ПЫЛЬ, ЗАПЫЛЕННЫЙ ВОЗДУХ, СЕПАРАЦИОННОЕ УСТРОЙСТВО, ЦИКЛОННЫЙ СЕПАРАТОР, ОЧИСТКА ВОЗДУХА, ВРЕДНЫЕ ЧАСТИЦЫ, СЕПАРАТОР

Keywords: FOOD DUST, DUSTY AIR, SEPARATION DEVICE, CYCLONE SEPARATOR, AIR PURIFICATION, HARMFUL PARTICLES, SEPARATOR

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-195-008>

Введение. В агропромышленном комплексе важной проблемой является повышение эффективности процесса очистки зерна от примесей, остатков оболочек, пыли и иных частиц при хранении, переработки и использовании различных продуктов.

Пыль пищевых производств различна по химическому составу, геометрии, размерности частиц и т. д. При протекании различных процессов на агропромышленных предприятиях при производстве зерна, происходят выбросы пищевой пыли и вредных частиц в воздух, что в свою очередь влияет на здоровье работников и функционирование аппаратов на предприятии. Пищевая пыль может содержать разного вида аллергены, что опасно для людей с серьезными заболеваниями, такими как астма и пищевая аллергия. Пыль от производства влияет не только на качество производимого сырья, но и на оборудование. Вредные частицы могут вызвать засорение фильтров и вентиляции, коррозию как отдельных частей, так и всего аппарата, быстрый перегрев оборудования и т. д. Стоит отметить, что вследствие производства некоторых продуктов, например, крахмала и сахара, могут выбрасываться в воздух частицы пыли, которые являются взрывоопасными. Поэтому повышение эффективности очистки запыленного воздуха от пищевой пыли является актуальной задачей.

Состояние исследований и актуальность проблемы. В настоящее время на агропромышленных предприятиях для удаления твердых частиц из запыленного воздуха применяется различное сепарационное оборудование: циклоны, пылесадительные камеры и др. Они

<http://ej.kubagro.ru/2024/01/pdf/08.pdf>

классифицируются по принципу действия: центробежные, гравитационные, электростатические и пр. Их отличает друг от друга разное конструктивное оформление.

Циклонные аппараты нашли более широкое распространение из-за простоты конструкции, возможности использования при довольно больших давлениях и температурах, надежности, маленьких капитальных затрат и достаточно высокой эффективности. Несмотря на большое количество достоинств данного аппарата, имеются и существенные недостатки. Среди них низкая эффективность очистки газов от мелкодисперсных частиц (например, до 15 мкм), абразивный износ частей устройства, и высокие потери давления.

В работе [3] была разработана модель сепаратора с двутавровыми элементами для повышения эффективности аспирационных систем при обработке крахмалистого сырья, которая способна увеличить эффективность улавливания частиц менее 20 мкм до 64%. В работе этих авторов было представлено исследование зависимости эффективности улавливания частиц различной дисперсности (от 5 до 20 мкм) от величины входной скорости запыленного потока (от 3 до 15 м/с). Авторы показали, что наиболее эффективной скоростью газа на входе в аппарат является 10 м/с. В статье [1] разработан вихревой пылегазоразделитель для повышения эффективности пылеулавливания в производстве сухой молочной сыворотки. Авторы отмечают, что при разработке новых конструкций пылеуловителей необходимо исследовать аэродинамическую структуру пылегазовой смеси. Таким образом, актуальной задачей является разработка новых эффективных сепарационных устройств.

Авторами работы совместно с Дмитриевым А. В. и Салаховой Э. И. было разработано сепарационное устройство с дугообразными элементами [2], представленное на рисунке 1. Основой сепаратора является множество дугообразных элементов 2, которые изготавливаются

путем резки трубы определенного диаметра пополам или способом гибки листовых пластин. Они вставляются в продольные пластины 5, выполняющие роль ребер жесткости. Расположение элементов 2 внутри сепарационного устройства напоминает шахматный порядок.

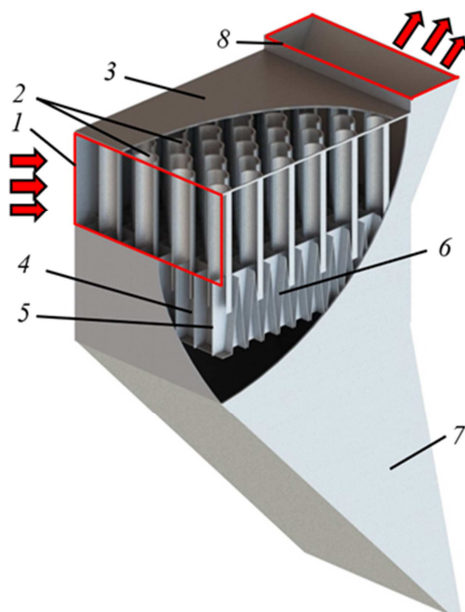


Рисунок 1 - Сепарационное устройство: 1 – подача запыленного газа; 2 – дугообразные элементы; 3 – внешние стенки устройства; 4 – сепарационные пластины; 5, 6 – продольные и V – образные пластины соответственно; 7 – переходник для ссыпания частиц в бункер; 8 – выход очищенного газа

В результате при движении запыленного газа создается волнообразная структура. V – образные пластины располагаются таким образом, что в своей нижней части они образуют щели небольшого линейного размера (до 0,1 см), что позволяет предотвращать движение восходящих потоков, способных уносить отсепарированные частицы из газа. Очищенный газ выходит из патрубка 8, расположенного в верхней правой части сепарационного устройства. Выбиванию частиц из волнообразной структуры запыленного газа происходит за счет инерционных сил (центробежные и гравитационные).

Цель исследований. Оценить влияние количества рядов дугообразных элементов и их диаметра на эффективность улавливания мелкодисперсных частиц пищевой пыли сепарационным устройством.

Материалы и методы исследований. Исследование проводилось методом численного моделирования в ANSYS Fluent.

Базовые геометрические размеры трехмерной модели: ширина, высота и глубина устройства – 160, 340 и 105 мм соответственно. В ходе исследований изменялся диаметр элементов от 20 до 60 мм и их количество от 5 до 12 шт. На основе трехмерной модели (рис. 1) генерировалась сеточная модель. При численном моделировании на входном патрубке задавалась скорость газа от 0,5 до 3 м/с, на выходном патрубке задавалось атмосферное давление. Размер частиц пищевой пыли в запыленном воздухе составлял до 30 мкм, т.к. при размере более 30 мкм достигается эффективность близкая к 0,9 - 1.

Эффективность предлагаемого устройства E рассчитывалась по формуле (1):

$$E = \frac{G_{in}}{G_{out}}, \quad (1)$$

где G_{in} , G_{out} – массовый расход частиц на входе в устройство и на выходе из него соответственно, кг/с.

Результаты исследований. В ходе исследований было установлено, что общая эффективность сепарационного устройства при очистке запыленного газа от частиц размером до 30 мкм повышается при увеличении количества рядов дугообразных элементов, их диаметра и снижения входной скорости воздушного потока. Так, при изменении количества рядов от 5 до 12 шт., диаметра дугообразных элементов от 20 до 60 мм и снижении входной скорости от 3 до 0,5 м/с общая эффективность сепарационного устройства возрасла в среднем на 17, 13 и 34 %. Как отмечалось ранее, повышение входной скорости запыленного

потока приводит к тому, что частицы начинают отскакивать от дугообразных элементов. Как правило, они попадают обратно в поток. В результате эффективность снижается с ростом скорости.

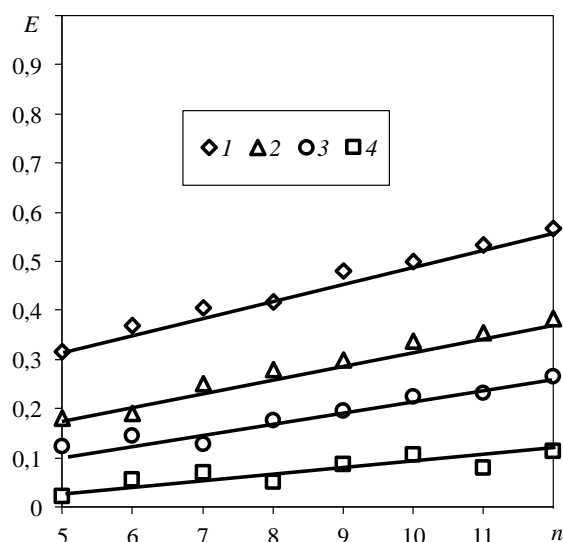


Рисунок 2 – Зависимость общей эффективности сепарационного устройства от количества рядов при различных значениях входной скорости W_{in} , м/с: 1 – 0,5; 2 – 1; 3 – 2; 4 – 3. Размер частиц до 30 мкм

При увеличении количества рядов элементов n , шт. изменяется расстояние, которое каждая частица должна пройти. Учитывая, что расстояние увеличивается, то количество частиц, которое выбивается из потока и оседает в бункере устройства также возрастает. В случае увеличения диаметра дугообразных элементов d , мм работает тот же принцип, что в случае с увеличением количества рядов. Общее (суммарное) расстояние, которое складывается из линейного расстояния равного глубине сепарационного устройства и расстояния, которое частица проходит при ее выбивании в сторону дугообразных элементов и отскока обратно в поток (в случае относительно высокой скорости). В результате часть частиц постепенно оседают и эффективность возрастает (рис. 3-4). При количестве рядов более 10 шт. и входной скорости равной 0,5 м/с общая эффективность сепарационного устройства составляет более 50 %.

При варьировании количества рядов дугообразных элементов общая эффективность сепарационного устройства при очистке запыленного потока от частиц размером до 30 мкм в среднем составила 45, 28, 19 и 7% при входной скорости 0,5, 1, 2 и 3 м/с соответственно (рис. 2).

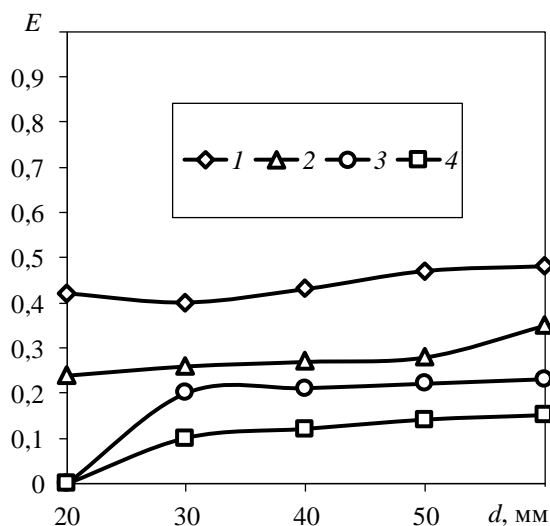


Рисунок 3 – Зависимость общей эффективности сепарационного устройства от диаметра элементов при различных значениях входной скорости W_{in} , м/с: 1 – 0,5; 2 – 1; 3 – 2; 4 – 3. Количество рядов $n = 8$ шт. Размер частиц до 30 мкм

При варьировании диаметра дугообразных элементов от 20 до 60 мм общая эффективность сепарационного устройства при очистке запыленного потока от частиц размером до 30 мкм в среднем составила 44, 28, 17 и 13 % при входной скорости 0,5, 1, 2 и 3 м/с (рис. 3). Потери давления в сепарационном устройстве составляют 13-580 Па при входной скорости 0,5-3 м/с.

Выводы. Применение предлагаемого сепарационного устройства может послужить альтернативой циклонному сепаратору на агропромышленных предприятиях. Компоновка нескольких таких устройств в единую конструкцию с увеличением количества рядов дугообразных элементов позволит получить высокую эффективность очистки запыленных потоков при низких энергетических затратах (при

организации входной скорости до 1 м/с) и обеспечит низкий эрозионный износ поверхностей. Основные выводы по работе. 1. Увеличение количества рядов и диаметра элементов приводит к повышению эффективности очистки воздушного потока от мелкодисперсных частиц пищевой пыли, т. к. возрастает расстояние, которое частицам необходимо пройти. 2. Снижение скорости увеличивает эффективность сепаратора, т. к. уменьшается вероятность отскока частиц от элементов обратно в поток. 3. При относительно низкой скорости равной 0,5 м/с и количестве рядов элементов более 10 шт. достигается эффективность более 50 % при потере давления до 20 Па.

Библиографический список

1. Алексеев, В. В. Повышение эффективности пылеулавливания циклонов в производстве сухой молочной сыворотки / В. В. Алексеев, И. И. Поникаров // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – Т. 17. – № 6. – С. 216-219.
2. Влияние сепарационной решетки на эффективность улавливания твердых частиц в устройстве с дугообразными элементами / Э. И. Салахова, В. Э. Зинуров, О. С. Дмитриева и др. // Вестник Технологического университета. – 2023. – Т. 26. – № 8. – С. 41-46. – DOI 10.55421/1998-7072_2023_26_8_41.
3. Зинуров, В. Э. Повышение эффективности аспирационных систем при обработке крахмалистого сырья / В. Э. Зинуров, А. В. Дмитриев, Р. Р. Мубаракшина // Ползуновский вестник. – 2020. – № 2. – С. 18-22. – DOI 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.02.004.

References

1. Alekseev, V. V. Povyshenie jeffektivnosti pylaulavlivaniya ciklonov v proizvodstve suhoj molochnoj syvorotki / V. V. Alekseev, I. I. Ponikarov // Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta. – 2014. – T. 17. – № 6. – S. 216-219.
2. Vlijanie separacionnoj reshetki na jeffektivnost' ulavlivanija tverdyh chastic v ustrojstve s dugoobraznymi jelementami / Je. I. Salahova, V. Je. Zinurov, O. S. Dmitrieva i dr. // Vestnik Tehnologicheskogo universiteta. – 2023. – T. 26. – № 8. – S. 41-46. – DOI 10.55421/1998-7072_2023_26_8_41.
3. Zinurov, V. Je. Povyshenie jeffektivnosti aspiracionnyh sistem pri obrabotke krahmalistogo syr'ja / V. Je. Zinurov, A. V. Dmitriev, R. R. Mubarakshina // Polzunovskij vestnik. – 2020. – № 2. – S. 18-22. – DOI 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.02.004.