

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ВЕСТНИК
ПОВОЛЖЬЯ**

№8 2023

Направления:

**1.2.2. – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧИСЛЕННЫЕ
МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ (технические науки)**

**2.3.1. – СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА
ИНФОРМАЦИИ (технические науки)**

**2.3.3. – АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ
ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ (технические науки)**

**2.3.5. – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ
СЕТЕЙ (физико-математические науки)**

**2.3.5. – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ
СЕТЕЙ (технические науки)**

**2.3.6. – МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ,
ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
(физико-математические науки)**

**Казань
2023**

УДК 60

ББК 30-1

Н-66

Н-66 Научно-технический вестник Поволжья. №8 2023г. – Казань: ООО «Рашин Сайнс», 2023. – 222 с.

ISSN 2079-5920

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (реестровая запись от 08.05.2019 серия ПИ № ФС 77 -75732)

Журнал размещен в открытом бесплатном доступе на сайте www.ntvprt.ru, и в Научной электронной библиотеке (участвует в программе по формированию РИНЦ).

Журнал включен ВАК РФ в перечень научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук.

Подписной индекс в объединенном каталоге «Пресса России» № E12025.

Главный редактор Р.Х. Шагимуллин

Редакционная коллегия

*С.В. Анаников – д.т.н., проф.; Т.Р. Дебердеев – д.т.н., проф.; Б.Н. Иванов – д.т.н., проф.;
В.А. Жихарев – д.ф.-м.н., проф.; В.С. Минкин – д.х.н., проф.; А.Н. Николаев – д.т.н., проф.;
В.Ф. Тарасов – д.ф.-м.н., проф.; Х.Э. Харлампиди – д.х.н., проф.; М.В. Шулаев – д.т.н., проф.*

В журнале отражены материалы по теории и практике технических, физико-математических и химических наук.

Материалы журнала будут полезны преподавателям, научным работникам, специалистам научных предприятий, организаций и учреждений, а также аспирантам, магистрантам и студентам.

УДК 60

ББК 30-1

ISSN 2079-5920

© Рашин Сайнс, 2023 г.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Э.И. Салахова, В.Э. Зинуров, В.В. Харьков, П.Е. Глухова, В.А. Лавриков, А.Н. Николаев</i>	
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОЧИСТКИ ГАЗА ОТ ТВЕРДЫХ ВЗВЕШЕННЫХ ЧАСТИЦ В СЕПАРАЦИОННОМ УСТРОЙСТВЕ С ВОГНУТЫМИ ОТРАЖАЮЩИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ	9
1.2.2. — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ	
<i>И.Н. Бояршинова, С.А. Бочкарев</i>	
ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКИ ПРИ УСТРАНЕНИИ ТРЕЩИН	15
<i>В.А. Ильиных, Т.Э. Носальская, О.С. Белкина</i>	
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ФУНКЦИЙ ОТКЛИКА ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПАРАМЕТРОВ КОНТАКТА В ПРОФИЛЬНОМ СОЕДИНЕНИИ	19
<i>А.А. Кочешков</i>	
КОВАРИАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ДИСКРЕТНЫХ СИСТЕМ С ВОЗМУЩЕНИЯМИ В КЛАССЕ МОДЕЛЕЙ СКОЛЬЗЯЩЕГО СРЕДНЕГО	23
<i>В.Ю. Мельцов, П.А. Баташев, А.А. Чудинов</i>	
АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ВЫБОРА УСЛУГ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ В КОМПЛЕКСНОМ ЦЕНТРЕ СОЦИАЛЬНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ	27
<i>Т.Г. Орешенко, С.В. Харлашина, В.Р. Тимофеев</i>	
О ПРЕДВАРИТЕЛЬНОМ РАСЧЕТЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМ	31
<i>С.С. Рявкин, С.А. Кусюмов, А.Н. Кусюмов</i>	
МОДЕЛИРОВАНИЕ МАХОВОГО ДВИЖЕНИЯ И КАЧАНИЯ ЛОПАСТИ НЕСУЩЕГО ВИНТА	35
2.3.1. — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ	
<i>Э.Ф. Амирова, Р.И. Вагапов, А.Л. Золкин, Н.Н. Малова</i>	
ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ	41
<i>А.В. Безворотных, И.А. Панфилов, А.В. Мицкевич, Р.Э. Мамедов, М.М. Клипин</i>	
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЦИФРОВОГО СЕРВИСА ПО УЧЕТУ ДИКОРОСОВ	49
<i>Л.С. Гришина, И.П. Болодурина</i>	
РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ГЕНЕРАЦИИ КЛИНИЧЕСКИХ РЕКОМЕНДАЦИЙ ДЛЯ ПАЦИЕНТОВ НА ОСНОВЕ НЕСТРУКТУРИРОВАННЫХ ТЕКСТОВЫХ ДАННЫХ	53
<i>А.Л. Золкин, Т.Г. Айгумов, Н.А. Гуляева, И.А. Поскряков</i>	
РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДОСТАВКОЙ БЕСПИЛОТНОГО ГРУЗОВОГО АППАРАТА ПРИ ПОМОЩИ СРЕДСТВ ПРЕДИКТИВНОЙ АНАЛИТИКИ	57
<i>А.Л. Золкин, Ю.Н. Коваль, Н.А. Гуляева, Ю.В. Гуменникова</i>	
ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ НА РЕЖИМНЫХ ОБЪЕКТАХ УГОЛОВНО-ИСПОЛНИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ В ЦЕЛЯХ ПРЕСЕЧЕНИЯ ДОСТАВКИ НА НИХ ЗАПРЕЩЁННЫХ ПРЕДМЕТОВ	64
<i>Н.А. Коневцев, В.В. Ножин</i>	
РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫМИ СРЕДСТВАМИ	71
<i>О.В. Корчевская, В.Е. Бобровский</i>	
РАЗРАБОТКА АГЕНТ-ОРИЕНТИРОВАННОЙ МОДЕЛИ И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТРУДОВОЙ МИГРАЦИИ НАСЕЛЕНИЯ	74
<i>А.В. Коськин, С.В. Новиков, А.Ю. Ужаринский</i>	
АНАЛИЗ СИСТЕМЫ ВЕБ-СЕРВИСОВ ИНТЕРНЕТ-ПРЕДСТАВИТЕЛЬСТВА ОРЛОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА ИМЕНИ И.С. ТУРГЕНЕВА	78

1.2.2.

¹Э.И. Салахова, ²В.Э. Зинуров канд. техн. наук,
¹В.В. Харьков канд. техн. наук, ²П.Е. Глухова,
²В.А. Лавриков, ¹А.Н. Николаев д-р техн. наук

¹Казанский национальный исследовательский технологический университет,

²Казанский государственный энергетический университет,

Казань, v.v.kharkov@gmail.com

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОЧИСТКИ ГАЗА ОТ ТВЕРДЫХ ВЗВЕШЕННЫХ ЧАСТИЦ В СЕПАРАЦИОННОМ УСТРОЙСТВЕ С ВОГНУТЫМИ ОТРАЖАЮЩИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

В работе представлены результаты численного моделирования для очистки газа от твердых взвешенных частиц в сепарационном устройстве с вогнутыми отражающими элементами. При течении газопылевого потока внутри устройства образуется волнообразная структура. Результатом такого течения является возникновение центробежных сил, действующих на частицы, способствующих их сепарации из газа. Целью работы является оценка эффективности сепарационного устройства с вогнутыми отражающими элементами при различном расстоянии между рядами. Для получения выборки данных рассматривалось три модели сепарационного устройства. Расстояние между рядами принималось равным 75, 100 и 125% от базового. В качестве модели турбулентности при CFD моделировании использовалась $k-\omega$ SST. Результаты численного моделирования показали, что с увеличением расстояния l между рядами вогнутых отражающих элементов эффективность сепарационного устройства снижается. Волнообразная структура потока нарушается, каждый поворот газа становится более вытянутым, что приводит к уменьшению центробежных сил, действующих на частицы. Эффективность сепарационного устройства составляет в среднем 91,2; 83,6 и 83,5 % при расстоянии между рядами отражающих элементов $0,75l$, l и $1,25l$ соответственно.

Ключевые слова: сепаратор, эффективность, мелкодисперсная пыль.

Наличие взвешенных твердых частиц в окружающем воздухе вызывает озабоченность общества, так как вызывают резкий рост заболеваемости дыхательных путей человека и представляют собой настоящую экологическую проблему для некоторых населенных пунктов. Поэтому Правительством Российской Федерации вводятся нормы по выбросам твердых частиц в атмосферный воздух [1]. Также на некоторых предприятиях требуется создание чистых комнат, например при производстве микроэлектроники, полупроводников, оптики, в аэрокосмической промышленности и т.д. [2]. Таким образом, актуальной задачей современных промышленных предприятий является соответствие этим требованиям с помощью использования надежной и эффективной системы очистки газа от взвеси с минимальными затратами при соблюдении действующих экологических и технологических норм.

Для улавливания твердых частиц из газа используются различные типы сепараторного оборудования, в том числе пылесадительные камеры, фильтры, электрофильтры, скрубберы и циклоны [3]. Эти устройства имеют различный механизм сепарации и обладают различной эффективностью при улавливании частиц различной крупности. Это связано с множеством факторов, влияющих на процесс сепарации, обусловленными конструктивными характеристиками сепарационного устройства, физико-механическими свойствами сред и режимными параметрами [4–6].

В настоящее время применяют различные устройства и методы интенсификации процесса улавливания мелких твердых частиц из газового потока, например, используя вихревые эффекты [7]. Однако, оценка эффективности новых сепарационных устройств для газовзвесей с учетом многофакторности процесса остается актуальной проблемой.

Авторским коллективом для очистки газа от твердых взвешенных частиц была предложена конструкция сепарационного устройства (рис. 1). Ее основой являются вогнутые отражающие элементы 1, в нижней части которых проделаны прорезы. Они предназначены для вставки данных элементов в параллельные пластины 2 сепарационной решетки устройства. Вогнутые отражающие элементы 1 вставляются в пластины 2 таким образом, что образуются их шахматная компоновка. При этом главная особенность вставки элементов 1 в пластины 2 заключается в обеспечении прочности конструкции и исключении расшатывании элементов 1 при работе сепарационного устройства, т.е. параллельные пластины 2 выполняют роль ребер жесткости. Также сепарационная решетка состоит из V-образных элементов 3. Они располагаются в устройстве таким образом, что в нижней части сепарационной решетки между соседними V-образными элементами 3 образуются небольшие щели размером до 10 мм. Через них происходит ссыпание уловленных частиц в приемный бункер устройства 5. Для вывода очищенного газа предназначен выхлопной патрубок 6.

Работа сепарационного устройства заключается в следующем [8]. Газовый поток с содержащимися в нем твердыми взвешенными частицами входит в устройство через прямоугольный патрубок на встречу вогнутым отражающим элементам 1, которые расположены в шахматном порядке [9]. При их обтекании образуется волнообразная структура запыленного потока. При таком течении возникают центробежные силы, под действием которых частицы выбиваются из потока и отлетают в сторону вогнутых элементов 1. При контакте частиц с ними они отскакивают от них, как правило, на небольшое расстояние, в пристеночную область элементов 1, характеризующуюся скоростью газа близкой к нулю [10]. Таким образом, частицы, оказавшись в ней постепенно падают по каналам транспортировки пыли и далее через небольшие щели между V-образными элементами 3 попадают в приемный бункер 5. Также щели препятствуют образованию восходящих потоков, которые могут возвращать часть частиц обратно в поток. Через выхлопной патрубок 6 очищенный газ покидает сепарационное устройство.

Важным параметром, влияющим на эффективность сепарационного устройства, является расстояние между рядами вогнутых отражающих элементов. Ранее была предложена формула (1), позволяющая рассчитать данное расстояние без учета толщины элементов, м:

$$l = \sqrt{0,75d}, \quad (1)$$

где d – диаметр линии, проходящей через середину стенки дугообразных элементов, м.

Целью данной работы является оценка эффективности сепарационного устройства с вогнутыми отражающими элементами при различном расстоянии между рядами.

Исследование проводилось с помощью численного моделирования в программном комплексе Ansys Fluent. В качестве модели турбулентности использовалась $k-\omega$ SST. Для получения выборки данных рассматривалось три модели сепарационного устройства. Расстояние между рядами принималось равным 75; 100 и 125% от l , рассчитываемое по формуле (1).

Исследование проводилось в трехмерной постановке. Модели сепарационного устройства строились по следующим основным параметрам: диаметр отражающих элементов – 35 мм, толщина элементов и пластин сепарационной решетки – 2 мм, ширина щели между V-образными элементами – 10 мм, высота отражающих элементов – 250 мм. Для сохранения размера щели и угла наклона V-образных элементов при изменении расстояния между рядами отражающих элементов изменялась высота сепарационной решетки, которая составляла 270 мм при $0,75l$, 160 мм при $1l$ и 135 мм при $1,25l$. Скорость на входе в сепарационное устройство изменялась от 0,5 до 5,0 м/с. Диаметр частиц изменялся от 10 до 170 мкм. Количество полиэдрических сеточных элементов составляло около 0,5 млн. шт. Плотность частиц составляет 3400 кг/м^3 .

Эффективность сепарационного устройства оценивалась по выражению (2):

$$E = \frac{n_p}{n}, \quad (2)$$

где n_p – количество частиц, которые были уловлены сепарационным устройством; n – количество частиц, которые были запущены в сепарационное устройство.

Результаты исследований показали, что для достижения высокой эффективности очистки газа от твердых взвешенных частиц сепарационным устройством нет необходимости в нагнетании высоких входных скоростей газа, например, как в циклонных сепараторах. Для предлагаемого сепарационного устройства высокая эффективность достигается при входной скорости 0,5–1,0 м/с. При этом при низких скоростях гидравлическое сопротивление устройства минимальное. С увеличением расстояния l между рядами вогнутых отражающих элементов эффективность сепарационного устройства снижается. Волнообразная структура потока нарушается, каждый поворот газа становится более вытянутым, что приводит к уменьшению центробежных сил, действующих на частицы. Эффективность сепарационного устройства составляет в среднем 91,2; 83,6 и 83,5 % при расстоянии между рядами отражающих элементов $0,75l$; l и $1,25l$ соответственно. Необходимо отметить, что при меньших расстояниях между рядами отражающих элементов возрастает значение инерционных сил. В силу того, что пространство для прохода газа сужается часть частиц не успевает перестраиваться и совместно с газом огибает элементы, что приводит к их сепарации из запыленного газа (рис. 2–4). Однако, уменьшение расстояния между отражающими элементами приводит к росту гидравлического сопротивления. Особенно это выражено при относительно высоких входных скоростях газового потока. Так, при расстоянии между рядами элементов $0,75l$, l и $1,25l$ гидравлическое сопротивление устройства изменяется от 18,2 до 1861,8, от 15,9 до 1590,8 и от 15,7 до 1562,6 Па, соответственно, при входной скорости газа в устройство от 0,5 до 5,0 м/с.

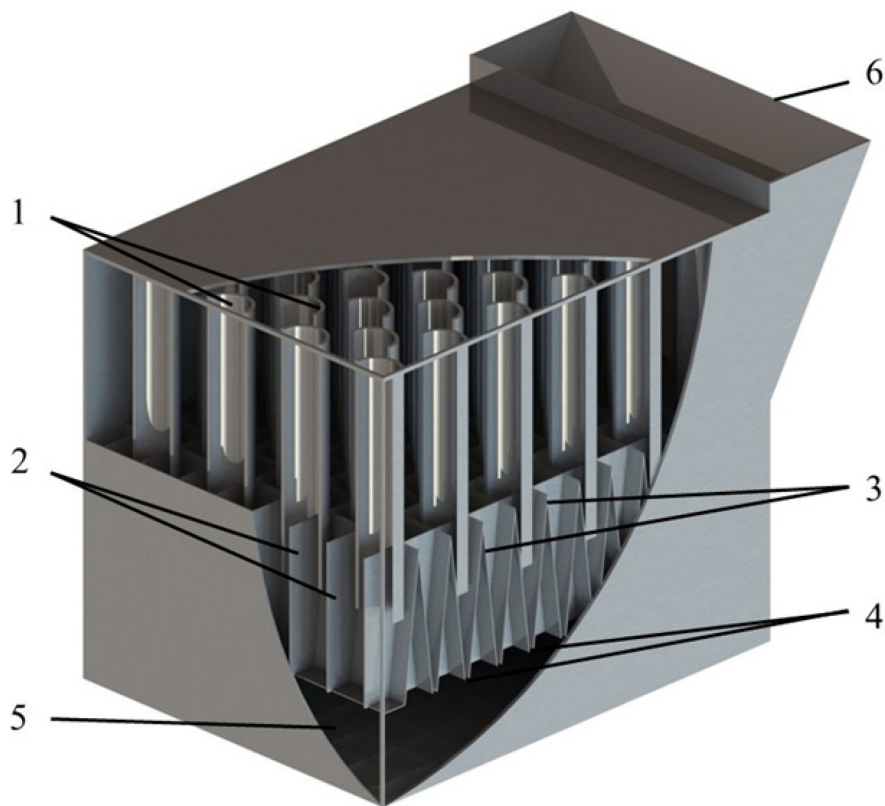


Рис. 1 – Трехмерная модель сепарационного устройства для очистки газа от твердых взвешенных частиц: 1 – вогнутые отражающие элементы; 2 – параллельные пластины; 3 – V-образные элементы; 4 – каналы транспортировки пыли; 5 – приемный бункер; 6 – выхлопной патрубок (вид с разрезом)

Эффективность сепарационного устройства при расстоянии между вогнутыми отражающими элементами равным $0,75l$ составила в среднем 85,8; 89,2; 92,6 и 96,6 % при входной скорости газа 0,5; 1,0; 3,0 и 5,0 м/с соответственно. При этом при размере частиц более 30 мкм эффективность сепарационного устройства составляет более 90 %. При размере частиц менее 30 мкм эффективность устройства составляла в среднем 54,1; 64,3; 75,4 и 88,2 % при входной скорости газа 0,5; 1,0; 3,0 и 5,0 м/с, соответственно (рис. 2).

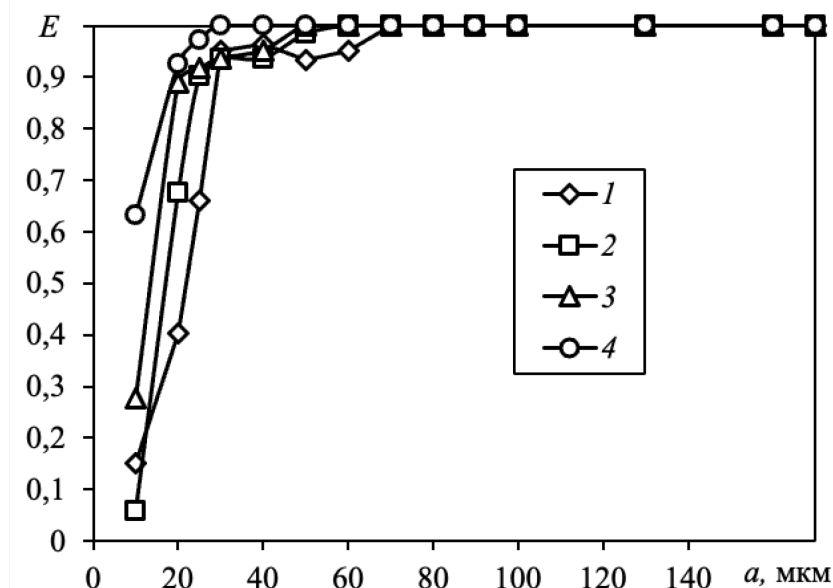


Рис. 2 – Зависимость эффективности очистки газа от твердых взвешенных частиц сепарационным устройством от их размера при различной входной скорости W , м/с: 1 – 0,5; 2 – 1,0; 3 – 3,0; 4 – 5,0. Расстояние между рядами элементов $0,75l$

При расстоянии между вогнутыми отражающими элементами равным l эффективность сепарационного устройства составляла в среднем 78,9, 86,1, 82,1, 87,2 % при входной скорости газа 0,5; 1,0; 3,0 и 5,0 м/с соответственно. В отличие от расстояния между рядами равным $0,75l$ (рис. 2) эффективность устройства, составляющая более 90 % для частиц размером более 30 мкм, сохранилась только для диапазона входной скорости газа до 3 м/с. Для большей скорости эффективность устройства составляет более 90 % для частиц размером более 50–60 мкм (рис. 3).

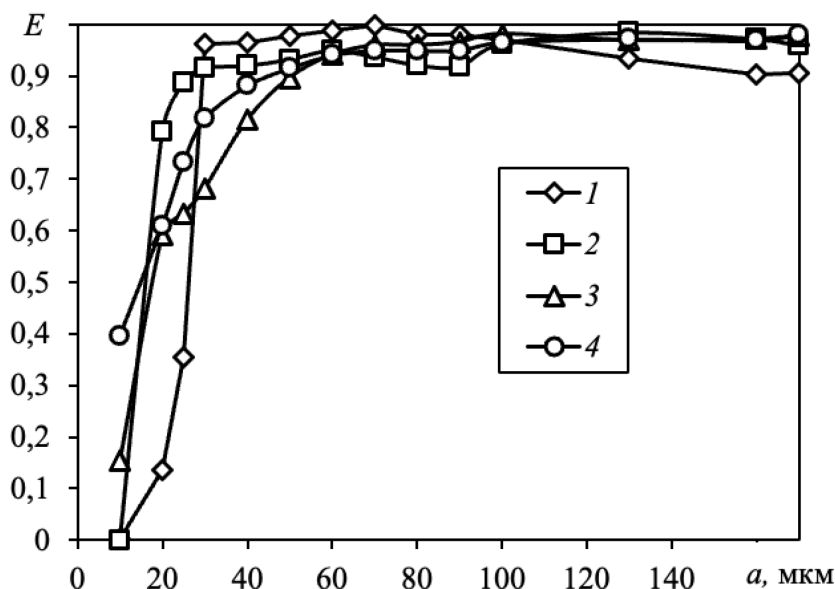


Рис. 3 – Зависимость эффективности очистки газа от твердых взвешенных частиц сепарационным устройством от их размера при различной входной скорости W , м/с: 1 – 0,5; 2 – 1,0; 3 – 3,0; 4 – 5,0. Расстояние между рядами элементов l

При увеличении расстояния между вогнутыми отражающими элементами до 1,25l эффективность сепарационного устройства при входной скорости газового потока 0,5; 1,0; 3,0 и 5,0 м/с составила в среднем 83,7; 78,6; 86,5 и 85,3 % соответственно. Эффективность сепарации частиц из запыленного потока равная более 90 % составила при их размере более 30 мкм (при входной скорости газа W равной 0,5 и 5,0 м/с), более 40 мкм (при входной скорости газа W равной 1,0 и 3,0 м/с). Для частиц меньшего размера эффективность возрастает с увеличением входной скорости (рис. 4).

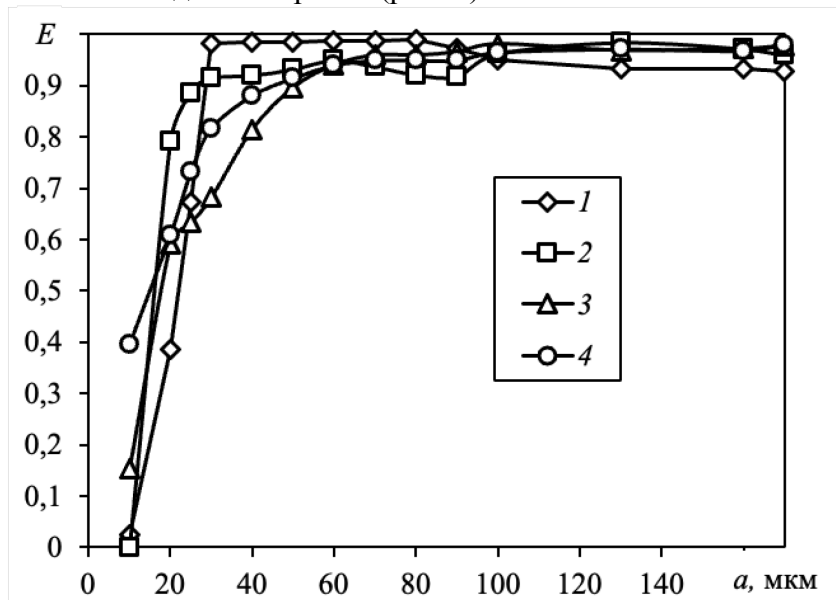


Рис. 4 – Зависимость эффективности очистки газа от твердых взвешенных частиц сепарационным устройством от их размера при различной входной скорости W , м/с:

1 – 0,5; 2 – 1,0; 3 – 3,0; 4 – 5,0. Расстояние между рядами элементов 1,25l

Таким образом, сепарационное устройство может быть использовано в реакторах с псевдоожиженным слоем в качестве замены циклонных сепараторов. С одной стороны, обеспечивается высокая эффективность очистки газа от твердых взвешенных частиц при низкой входной скорости газового потока, что также позволяет снизить потери давления в устройстве и абразивный износ его стенок. С другой стороны, предлагаемое сепарационное устройство имеет небольшие габариты относительно циклонного сепаратора, что при промышленном применении позволит увеличить свободное пространство в реакторе.

На основе проведенной работы можно сделать следующие выводы:

1. Увеличение расстояния между рядами вогнутых отражающих элементов снижает эффективность сепарационного устройства, так как это приводит к изменению волнообразной структуры потока газового потока.

2. Наиболее высокая эффективность сепарационного устройства достигается при расстоянии между рядами отражающих элементов 0,75l, составляющая в среднем 91,2 % при их диаметре 35 мм.

3. Потери давления в сепарационном устройстве составляют менее 100 Па при входной скорости газа до 1 м/с.

Работа выполнена при финансовой поддержке Стипендии Президента РФ СП 3577.2022.1.

Список литературы

1. *Кормина Л.А.* Технологии очистки газовых выбросов / Л. А. Кормина, Ю. С. Лазуткина. – Барнаул: Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, 2020. – 263 с.
2. *Келлер А.И.* Поддержание заданных параметров воздушного режима в чистых комнатах / А. И. Келлер, К. И. Капушак, А. В. Делков // Научный альманах Центрального Черноземья. – 2022. – № 4-1. – С. 81-84.
3. Очистка и дезодорация газоздушных выбросов / В. А. Пронин, В. О. Мамченко, О. В. Долговская, В. А. Цветков. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, 2022. – 156 с.
4. *Николаев А.Н.* Интегральные характеристики закрученных течений в газоочистном оборудовании вихревого типа / А. Н. Николаев, В. В. Харьков // Вестник Технологического университета. – 2015. – Т. 18, № 18. – С. 130-132.
5. *Тукмаков А.Л.* Пневматическая сепарация фракций полидисперсной газозвеси в низкоскоростном потоке / А. Л. Тукмаков, В. В. Харьков, А. А. Ахунов // Инженерно-физический журнал. – 2022. – Т. 95, № 4. – С. 918-924.
6. *Николаев А.Н.* Эффективность инерционного осаждения частиц на каплях жидкости в полых вихревых аппаратах при очистке выбросов пищевых производств / А. Н. Николаев, Н. М. Нуртдинов, В. В. Харьков // Вестник Технологического университета. – 2015. – Т. 18, № 3. – С. 294-296.
7. *Zinurov V.E.* Numerical simulation of pressure loss in a classifier with coaxial pipes / V. E. Zinurov, V. V. Kharkov, I. N. Madyshev // Mining Informational and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal). – 2022. – No. 10-1. – P. 173-181. – DOI 10.25018/0236_1493_2022_101_0_173.
8. Пылеулавливающее устройство для блоков дегидрирования парафиновых углеводородов с кипящим слоем катализатора / Э. И. Салахова, А. В. Дмитриев, В. Э. Зинуров [и др.] // Катализ в промышленности. – 2022. – Т. 22, № 2. – С. 57-64. – DOI 10.18412/1816-0387-2022-2-57-64.
9. *Салахова Э.И.* Исследование структуры газового потока в сепарационном устройстве с дугообразными элементами / Э. И. Салахова, А. В. Дмитриев, В. Э. Зинуров // Вестник Технологического университета. – 2022. – Т. 25, № 5. – С. 60-64. – DOI 10.55421/1998-7072_2022_25_5_60.
10. Численное моделирование процесса улавливания мелкодисперсных капель формальдегида в сепарационном устройстве с двутавровыми элементами / В. Э. Зинуров, А. В. Дмитриев, А. Р. Галимова, Г. Х. Гумерова // Вестник Технологического университета. – 2020. – Т. 23, № 11. – С. 82-86.