

МОЛОДЁЖНЫЙ ВЕСТНИК ИрГТУ

СЕТЕВОЕ ИЗДАНИЕ
<http://mvestnik.istu.irk.ru/>

Том 13 № 1 2023



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ИРКУТСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Молодежный вестник ИрГТУ

Сетевое издание

Том 13 № 1 2023

2023

Молодежный вестник ИрГТУ

Сетевое издание

Том 13 № 1 2023

Редакционная коллегия

Пешков В.В., д.э.н., профессор, директор Института архитектуры, строительства и дизайна, советник РААСН, Иркутский национальный исследовательский технический университет (г. Иркутск, Россия) – главный редактор

Члены редколлегии:

Большаков А.Г., д.а., профессор, заведующий кафедрой архитектурного проектирования, Иркутский национальный исследовательский технический университет (г. Иркутск, Россия)

Евстафьев С.Н., д.х.н., профессор, заведующий кафедрой химии и пищевой технологии, Иркутский национальный исследовательский технический университет (г. Иркутск, Россия)

Зайдес С.А., д.т.н., профессор, профессор кафедры материаловедения, сварочных и аддитивных технологий, Иркутский национальный исследовательский технический университет (г. Иркутск, Россия)

Калашников М.П., д.т.н., профессор, декан строительного факультета, Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления (г. Улан-Удэ, Республика Бурятия, Россия)

Кикучи М., доктор наук (экология), инженер департамента городского и регионального планирования, Токийская Ассоциация Парков (г. Токио, Япония)

Кузнецов Н.К., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой конструирования и стандартизации в машиностроении, Иркутский национальный исследовательский технический университет (г. Иркутск, Россия)

Лобацкая Р.М., д.г.-м.н., профессор, заведующая кафедрой ювелирного дизайна и технологий, Иркутский национальный исследовательский технический университет (г. Иркутск, Россия)

Матвеева М.В., д.э.н., профессор кафедры экспертизы и управления недвижимостью, советник РААСН, Иркутский национальный исследовательский технический университет (г. Иркутск, Россия)

Наумов И.В., д.и.н., профессор кафедры истории и философии, Иркутский национальный исследовательский технический университет (г. Иркутск, Россия)

Никаноров А.В., к.т.н., доцент кафедры металлургии цветных металлов, Иркутский национальный исследовательский технический университет (г. Иркутск, Россия)

Петров А.В., д.т.н., профессор Института информационных технологий и анализа данных, Иркутский национальный исследовательский технический университет (г. Иркутск, Россия)

Пэлжээгийн Отгонбаяр, д.т.н., профессор, профессор Архитектурно-Строительной Школы, Монгольский Государственный Университет Науки и Технологии (г. Улан-Батор, Монголия)

Пахаруков А.А., к.юрид.н., доцент, заведующий кафедрой юриспруденции, Иркутский национальный исследовательский технический университет (г. Иркутск, Россия)

Сколубович Ю.Л., д.т.н., профессор, ректор, Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (г. Новосибирск, Россия)

Струк Е.Н., доктор философских наук, заведующая кафедрой социологии и психологии, Иркутский национальный исследовательский технический университет (г. Иркутск, Россия)

Фань Фэн, профессор, советник ректора, Харбинский политехнический университет, заместитель исполнительного директора Ассоциации технических университетов России и Китая (г. Харбин, Китай)

Федотов А.И., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой автомобильного транспорта, Иркутский национальный исследовательский технический университет (г. Иркутск, Россия)

Харинский А.В., д.и.н., профессор, научный руководитель научно-исследовательской лаборатории археологии, палеоэкологии и систем жизнедеятельности народов Северной Азии, Иркутский национальный исследовательский технический университет (г. Иркутск, Россия)

Ходжа Э., профессор геоинформационных систем и моделирования, Факультет геологии и горного дела, Политехнический университет Тираны (г. Тирана, Албания)

Чупин В.Р., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой городского строительства и хозяйства, советник РААСН, Иркутский национальный исследовательский технический университет (г. Иркутск, Россия)

Яськова Н.Ю., д.э.н., профессор, заведующий кафедрой инвестиционно-строительного бизнеса Института отраслевого менеджмента РАНХ и ГС (г. Москва, Россия)

В журнале публикуются статьи по техническим, естественным, гуманитарным, социально-экономическим и общественным наукам

Журнал основан в 2011 году
Периодичность издания - 4 раза в год

Сведения о журнале можно найти на сайте: <http://mvestnik.istu.irk.ru>

Журнал зарегистрирован
Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)

Свидетельство о регистрации
Эл № ФС77-84389
от 26 декабря 2022 г.

Журнал имеет свободный доступ к публикациям;
включен в Научную электронную библиотеку (eLIBRARY.RU)
для создания Российского индекса научного цитирования (РИНЦ)

Учредитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет» (ФГБОУ ВО «ИРНИТУ»)

Издатель ФГБОУ ВО «ИРНИТУ»

Адрес учредителя, издателя:
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83

Адрес редакции:
664074, г. Иркутск,
ул. Лермонтова, 83, ауд. И-022,
e-mail: mvestnik@istu.edu

Молодежный вестник ИрГТУ

Сетевое издание

Том 13 № 1 2023

Уважаемые читатели!

Предлагаем вашему вниманию очередной выпуск сетевого издания
«Молодежный вестник ИрГТУ»

«Молодежный вестник ИрГТУ» – это сетевое издание (выходит 4 раза в год), на страницах которого отражаются основные результаты научно-исследовательских работ ученых, докторантов, аспирантов, студентов вузов и НИИ не только Восточно-Сибирского региона, но и других регионов России.

Приглашаем вас к активному творческому сотрудничеству по научным направлениям:

- Машиностроение
- Электроника, фотоника, приборостроение и связь
- Информационные технологии и телекоммуникации
- Энергетика и электротехника
- Транспортные системы
- Строительство и архитектура
- Исторические науки
- Философия
- Филология
- Экономика
- Психология
- Педагогика
- Социология
- Право
- Науки о Земле и окружающей среде
- Недропользование и горные науки
- Химические технологии, науки о материалах, металлургия

Редколлегия

Молодежный вестник ИрГТУ

Сетевое издание

Том 13 № 1 2023

СОДЕРЖАНИЕ

МАШИНОСТРОЕНИЕ

- Басечкин У.А., Андреев И.А., Котельников С.Н., Стрельников А.Н., Кокоуров Д.В.** Исследование смазывающих свойств пластичных смазок 6

ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

- Костылева Н.Л., Пузина Е.Ю.** Управление энергообеспечением энергоемкого промышленного предприятия в современных условиях 20

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

- Бакланов С.И., Зеньков Е.В., Зотов В.А.** Методика формирования библиотеки семейств с применением BIM-технологий 28
- Дорофеева Н.Л., Шелехова А.И.** Обзор мероприятий по предотвращению наледи на крышах 37
- Елашкина Е.В.** Сравнение архитектуры детских домов семейного типа и военно-образовательных учреждений как аспекта в воспитании детей, оставшихся без попечения родителей 43
- Иванченко А.Т., Добышева Т.В.** Управление жизненным циклом объекта культурного наследия 49
- Романова Е.А., Кострубова И.И.** Перспектива как средство восприятия мира и аппарат профессиональной деятельности 54
- Петров А.В., Чесноков А.С., Вологжин В.Ю., Кошкин Б.Г.** Совершенствование технологии восстановления конструкций нулевого цикла деревянных зданий старой застройки в сельских районах Иркутского региона 64
- Потонова Н.А., Саландаева О.И.** Архитектура современных жилых зданий и жилых комплексов в условиях исторически сложившегося города Иркутска со сложными сейсмогеологическими условиями 70
- Тимофеева А.Д.** Особенности комплексного благоустройства участков для дошкольных образовательных учреждений в зарубежных странах 79
- Фам Т.Т.Н., Захарчук М.Г.** Модернизация интерьеров учреждения профессионального образования как имиджевого пространства 94
- Яценко В.П., Доржиева С.П.** BIM-технологии как инструмент создания проекта реставрации 100

ИСТОРИЧЕСКИЕ НАУКИ

- Корытов Ф.А., Горощенкова О.А.** Развитие аэродинамики крыла самолета начала – середины XX века 106
- Ткачев В.В.** Музейная работа деятелей искусства и коллекционеров в процессе сохранения художественного наследия Иркутской губернии на рубеже XIX – XX вв. 115

ФИЛОЛОГИЯ

Агеева Г.А., Борисова О.Д. Лингвистическая характеристика заголовков немецкого студенческого интернет-журнала FURIOS	122
Зыков Е.В., Апончук И.И. Вместо тысячи слов	128
Петрова Н.А. Устройство категории ГРИБЫ (на материале современного русского языка)	134

ЭКОНОМИКА

Акатьева Е.Ю., Литвинова О.В. Анализ стратегии развития проектной организации	143
Прибыткова В.И., Яценко С.А. Стратегии позиционирования в маркетинге на примере концерна «Volvo»	149

ПЕДАГОГИКА

Амбарцумян Р.А., Старовойтова А.В. Развитие выносливости во время занятий физической культурой	157
Иванова М.А., Леонов Е. Ю. Реверс-инжиниринг в металлургии	163
Клименкова С.Б., Пожарин Д.А. Использование элементов дополненной реальности при изучении дисциплины «Инженерная и компьютерная графика»	169
Кузнецова Л.В., Зуева Ю.В. Влияние дистанционного формата обучения и самоизоляции на физическую активность студентов университета	174
Малыхин А.В., Павлов И.О. Физическая культура в трудовом коллективе: значение и роль, средства по восстановлению организма	179

ПРАВО

Киселёва А.И., Абрамитов С.А. К вопросу о правовом регулировании оценки эффективности работы органов местного самоуправления	187
Максимова В.С., Курышова И.В. К вопросу о вербовке несовершеннолетних в экстремистские объединения в сети Интернет	191

ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ, НАУКИ О МАТЕРИАЛАХ, МЕТАЛЛУРГИЯ

Бартанов В.Ф., Васильев А.А. Исследование по регенерации цианида и извлечению меди из оборотного раствора золотоизвлекательной фабрики	196
Бельский С.С., Кокин А.С. Производство алюминиевых сплавов	204
Васильев М.И., Тютрин А.А. Современное состояние производства вторичного свинца в России и за рубежом	210
Горбунов М.С., Харченко К.А., Еловенко Д.А. Содержание полициклических ароматических углеводородов в тяжелых нефтяных остатках как экологическая проблема	216
Кузьмина М.Ю., Медведев Е.С., Кондратенко А.П. Принципиальное устройство индукционной печи и применение отечественного вибронасыпного огнеупора	227
Насырова И.И., Зинуров В.Э. Численное моделирование улавливания твердых частиц в центробежном сепараторе	241
Немчинова Н.В., Усатых Е.В., Орлов И.А., Леонов И.С. Требования к футеровочным материалам подины алюминиевых электролизеров	245
Пухнаревич О.Н., Минеева Т.С. Кучное выщелачивание золота в условиях пониженных температур	253
Шемелин А.А., Сысоев И.А. Аналитический контроль сырья и продуктов технологического процесса при производстве алюминия	258

Численное моделирование улавливания твердых частиц в центробежном сепараторе

© И.И. Насырова, В.Э. Зинуров

Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Российская Федерация

Аннотация. Актуальной задачей сегодня является повышение эффективности улавливания мелкодисперсных твердых частиц в сепарационных аппаратах. В системах тонкой очистки газы освобождаются от мелких частиц. Однако фильтры быстро засоряются, что приводит к увеличению гидравлического сопротивления, а в ряде случаев и снижению эффективности. Также важной проблемой считается увеличение срока их службы. Для этого в работе предлагается конструкция центробежного сепаратора, который устанавливается перед фильтрами тонкой очистки. Целью данной работы является численное моделирование процесса улавливания частиц в центробежном сепараторе. В статье представлена его конструкция. Описан принцип действия. В численных расчетах на входе в устройство задавалась входная скорость газового потока, которая варьировалась от 3 до 10 м/с. Плотность частиц также варьировалась 1000, 2000, 3000 кг/м³. Диаметр частиц варьировался от 1 до 15 мкм. Угол раскрытия щелей от 16 до 24°. В ходе расчетов были сделаны следующие основные выводы: структурированность вихрей в межтрубном пространстве определяет степень эффективности центробежного сепаратора, при угле раскрытия прямоугольных щелей $\alpha = 20^\circ$ достигается максимальная эффективность сепарации мелкодисперсных частиц размером до 10 мкм из загрязненного потока равная в среднем 40,3 %, эффективность сепарации мелкодисперсных частиц из запыленного потока увеличивается при росте входной скорости газа и плотности частиц, т. к. они легче поддаются выбиванию из завихренного газа.

Ключевые слова: центробежный сепаратор, улавливание частиц, твердые частицы, запыленная среда, сепарация частиц из газа, сепарационное устройство

Numerical Simulation of Solids Entrainment in a Centrifugal Separator

© Ilyuza I. Nasyrova, Vadim E. Zinurov

Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russian Federation

Abstract. An urgent task is to increase the efficiency of capturing fine particulate matter in separation apparatuses. In fine cleaning systems, gases are freed from fine particles. However, fine filters quickly become clogged, which leads to an increase in hydraulic resistance, and in some cases, a decrease in efficiency. An urgent task is to increase their service life and increase efficiency. For this purpose, the paper proposes the design of a centrifugal separator, which is proposed to be installed in front of fine filters. The purpose of this work is to numerically simulate the process of capturing particles in a centrifugal separator. The article presents the design of a centrifugal separator and describes the principle of operation. In numerical calculations, the inlet velocity of the gas flow was set at the entrance to the device, which varied from 3 to 10 m/s. The particle density also varied 1000, 2000, 3000 kg/m³. The particle diameter varied from 1 to 15 microns. The opening angle of the slits varied from 16 to 24 degrees. During the calculations, the following main conclusions were made: the structuring of vortices in the intertubular space determines the degree of efficiency of the centrifugal separator, with the angle of opening of rectangular slits $\alpha = 20^\circ$, the maximum separation efficiency of fine particles up to 10 microns in size from the dusty flow is equal to an average of 40.3%, the separation efficiency of fine particles from the dusty flow increases with an increase in the gas inlet velocity and the density of particles, because they are easier to knock out of the swirling gas.

Keywords: centrifugal separator, particle capture, solid particles, dusty medium, separation of particles from gas, separation device

С развитием химической промышленности первостепенное значение имеет охрана окружающей среды и сокращение объемов, поступающих в атмосферу вредных веществ. Учитывая специфику процессов производства и выпускаемой продукции, именно заводы, комбинаты и фабрики химической отрасли

являются лидерами по ухудшению экологической обстановки [1–2]. Соответственно, наиболее современные и эффективные пылеулавливающие аппараты широко используются на предприятиях химической промышленности для удаления частиц из газовых потоков от содержащихся в них

мелкодисперсных взвесей. Некоторые системы механической очистки способны не только осаждать твердую фазу потока, но и снижать температуру газозвушной смеси, выбрасываемой в атмосферу, до допустимых значений [3].

Все системы газоочистки, применяемые на химических предприятиях, технологически основаны на одном из пяти основных методов улавливания или осаждения твердых частиц, содержащихся в воздушном потоке. К ним относятся устройства гравитационного типа, «мокрые» и «сухие» инерционные системы, контактные пылеуловители электрические средства осаждения пыли и различные фильтры [4–5]. Как правило, сначала из газового потока удаляются крупные частицы в аппаратах грубой очистки и далее мелкие в аппаратах тонкой очистки.

Недостатком существующих сепараторов грубой очистки является низкая эффективность процесса пылеулавливания, а аппараты тонкой очистки с высокой степенью очистки быстро забиваются и приходят в неисправность, что приводит к уменьшению срока службы [6]. Таким образом, задача по продлению эксплуатационного срока службы аппаратов тонкой очистки является актуальной.

Для решения данной проблемы предлагается использовать центробежный сепаратор, который будет устанавливаться перед аппаратами тонкой очистки. Целью данной работы численное моделирование процесса улавливания частиц в центробежном сепараторе.

Исследования проводились в программном комплексе Ansys Fluent.

Для их проведения была создана трехмерная модель центробежного сепаратора.

Геометрические размеры трехмерной модели задавались следующим образом: диаметр входного отверстия 57 мм, диаметр круглых выходных отверстий в пластине 11 мм (количество отверстий равно 18 штук), высота внешнего цилиндра 140 мм, высота внутреннего цилиндра 90 мм, высота щелей 15 мм, а ширина раскрытия щелей менялась по ходу проведения эксперимента. (16, 20, 24 градуса).

Принцип действия представленного центробежного сепаратора заключается в том, что газовый поток входит в устройство через входное отверстие 1, затем опускается до прямоугольных щелей 3, после чего основная часть газового потока с частицами в равных долях осесимметрично распределяется по щелям 3. При этом оставшаяся часть газового потока продолжает прямолинейное движение и направляется к выходным отверстиям 2. Следует отметить, что количество выходных отверстий 2 в пластине соответствует количеству вихрей в межтрубном пространстве [7]. При движении газового потока через щели в межтрубное пространство делится на 2 струи, одна из которых под определенным углом движется в правую сторону, вторая в левую, при этом поток приобретает завихренное движение [8].

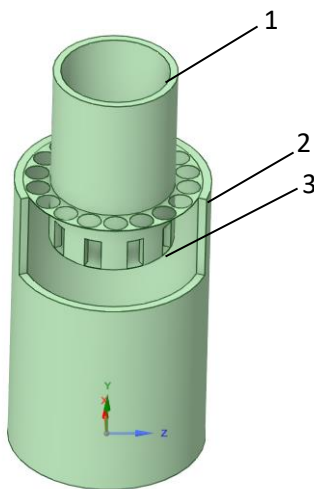


Рис. 1. Трехмерная модель центробежного сепаратора: 1–входное отверстие для подачи запыленного потока, 2–выходные отверстия для очищенного газового потока, 3–прямоугольные щели

В исследовании центробежного сепаратора расчетная сетка состояла из 1 млн ячеек. Следует отметить, что при 2 и 4 млн ячеек результаты не изменялись. При проведении численного моделирования задавались следующие граничные условия: на входе в устройство задавалась входная скорость газового потока, которая варьировалась от 3 до 10 м/с, а массовый поток частиц составлял 5 г/с; плотность частиц варьировалась от 1000 до 3000 кг/м³; диаметр частиц от 1 до 15 мкм. На выходе из сепаратора атмосферное давление p_1 было установлено на уровне 101 325 Па. Во всех исследованиях температура среды оставалась постоянной и составляла 25 °С.

Было обнаружено, что для создания 18 упорядоченных вихрей требуется 9 прямоугольных щелей, каждая из которых имеет угол раскрытия 20°. Однако этот метод расчета не подтвержден ни численными, ни физическими экспериментами. Следовательно, в данном исследовании угол раскрытия прямоугольных щелей 3 (рис. 1) варьировался от 16 до 24° при сохранении других конструктивных параметров постоянными, чтобы оценить поведение вихревой структуры в межтрубном пространстве, эффективность сепарации и гидравлическое сопротивление [9–10].

Эффективность отделения частиц от газового потока в центробежном сепараторе определялась по формуле:

$$E = 1 - \frac{n_k}{n},$$

где n_k – количество мелкодисперсных частиц, которые покинули сепаратор с газом через выходные отверстия 2 (рис.1); n – общее количество мелкодисперсных частиц, которые поступили в сепаратор.

Результаты исследований показали, что на эффективность отделения частиц из запыленного газового потока и гидравлическое сопротивление центробежного сепаратора влияет угол раскрытия прямоугольных щелей α , что обусловлено изменением поведения вихревой структуры в межтрубном пространстве устройства. Наиболее упорядоченная структура наблюдается при углах раскрытия прямоугольных щелей α , равных 16 и 20°.

С увеличением угла раскрытия прямоугольных щелей α с 16 до 24° максимальная скорость на рассматриваемых участках сепаратора снижается с 11 до 7 м/с. При этом эффективность отделения мелкодисперсных частиц из запыленной среды размером от 1 до 10 мкм в сепараторе составляет в среднем 30,5 % при угле раскрытия прямоугольных щелей α – 16. (рис. 2).

При размере частиц более 10 мкм наблюдается высокая эффективность при любом угле раскрытия прямоугольных щелей α . А при $\alpha=20^\circ$ большая часть потока при выходе

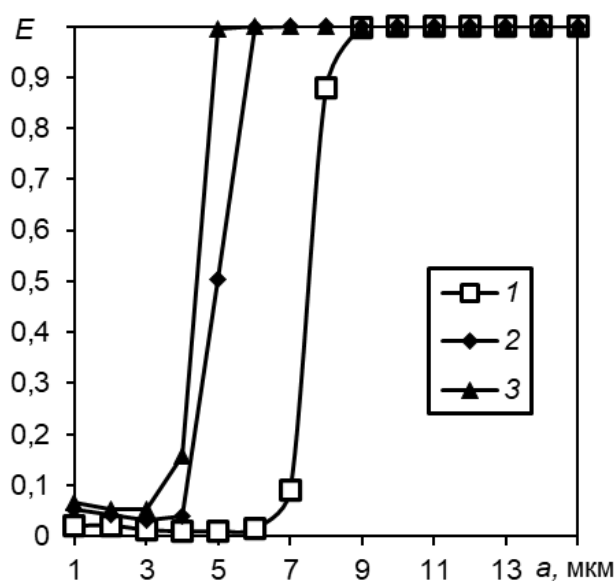


Рис. 2. Зависимость эффективности сепаратора с соосно расположенными трубами от диаметра частиц при различной входной скорости газа, м/с: 1 – 3, 2 – 7, 3 – 10. Угол раскрытия прямоугольных щелей 16°. Плотность частиц 1000 кг/м³

из щелей сразу распределяется в зону завихрений. Вследствие этого эффективность при $\alpha=20^\circ$ наблюдается более высокой. При увеличении угла α до 24° вихревая структура становится неустойчивой, так как на некоторых участках соседние вихри разрушают друг друга в точках соприкосновения, в результате чего возникают участки, где потоки носят хаотический характер, что приводит к снижению эффективности.

Таким образом, проведенные исследования показали, что эффективность отделения мелкодисперсных частиц от пылевых потоков в центробежном сепараторе зависит от

поведения вихревой структуры в межтрубном пространстве.

На поведение вихревой структуры, в свою очередь, непосредственно влияет угол раскрытия прямоугольных щелей α . При оптимальном угле α формируется структура вихревой структуры, близкая к идеальной, то есть сводится к минимуму возникновение негативных факторов: возникновение хаотических восходящих потоков, значительное смещение вихрей и др., что может привести к снижению эффективности сепаратора. Наиболее эффективный угол $\alpha=20^\circ$.

Список источников

1. Ахметшин М.Р. Антропогенные газовые выбросы при сжигании суспензионных топлив и отходов нефтепереработки // Кокс и химия. 2021. № 4. С. 36–43.
2. Патент 2638969 Российская Федерация, МПК В04С 9/00 (2006.01), В04С 5/12 (2006.01) Фильтр циклон для очистки газов 2017107985, заявл. 10.03.2017: опубл. 19.12.2017 / Катин В. Д., Богачев А. П.; заявитель ТОГУ.
3. Серебрянский Д.А. и др. Инновационные комплексные решения по очистке отходящих газов в черной металлургии. Технические решения для очистки запыленных газовых потоков // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2021. Т. 77. № 5. С. 593–601.
4. Zinurov V. Design of High-Efficiency Device for Gas Cleaning from Fine Solid Particles // 6th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2020): Springer International Publishing. 2021. P. 378-385.
5. Тимофеев И.Е., Тимашева Е.Н., Черноглазов А.С. Эффективность мокрой очистки запыленных газов после сушильных установок // Молодежная наука в развитии регионов. 2021. Т. 1. С. 220–222.
6. Патент 2619707С1 Российская Федерация, МПК В01Д47/06, В01Д45/02 Способ очистки запыленного воздуха 2016117434А, заявл. 05.04.2016: опубл. 17.05.2017 / Тюрин Н. П. и др.; заявитель СамГТУ.
7. Шапала В.Г. Моделирование очистки газов в пылеосадительных камерах цементных печей // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2017. № 4. С. 132–137.
8. Zhang P. Experimental evaluation of separation performance of fine particles of circulatory circumfluent cyclone separator system // Separation and Purification Technology. 2019. Vol. 210. P. 231-235.
9. Зинуров В.Э. Экспериментальное определение гидравлического сопротивления упрощенной модели мультивихревого классификатора с соосно расположенными трубами // Ползуновский вестник. 2022. № 2.
10. Зинуров В.Э. Разработка классификатора с соосно расположенными трубами для разделения сыпучего материала на основе силикагеля // Ползуновский вестник. 2021. № 2. С. 205–211.

Информация об авторах / Information about the Authors

Насырова Илюза Ильшатовна,
студент,
Институт теплотехники,
Казанский государственный
энергетический университет,
420066, г. Казань, ул. Красносельская, 51,
Российская Федерация,
ilyuza2001@mail.ru

Зинуров Вадим Эдуардович,
ассистент,
кафедра теоретических основ теплотехники,
Институт теплотехники,
Казанский государственный
энергетический университет,
420066, г. Казань, ул. Красносельская, 51,
Российская Федерация,
vadd_93@mail.ru

Ilyuza I. Nasyrova,
Student,
Institute of Thermal Power Engineering,
Kazan State Power Engineering University,
51 Krasnoselskaya St., 420066 Kazan,
Russian Federation,
ilyuza2001@mail.ru

Vadim E. Zinurov,
Assistant,
Department of Theoretical foundations
of Heat Engineering,
Institute of Thermal Power Engineering,
Kazan State Power Engineering University,
51 Krasnoselskaya St., 420066 Kazan,
Russian Federation,
vadd_93@mail.ru