



МЕЖДУНАРОДНАЯ МОЛОДЕЖНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
«ТИНЧУРИНСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2021»  
«ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА»



**ТИНЧУРИНСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2021**  
**«ЭНЕРГЕТИКА И ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ»**

Международная молодежная научная конференция  
(Казань, 28–30 апреля 2021 г.)

**Материалы конференции**

В трех томах

Том 2

**ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА**

ISBN 978-5-6046580-4-8



9 785604 658048

**Материалы конференции**

**2**



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Казанский государственный энергетический университет»  
АО «Системный оператор Единой энергетической системы»  
Публичное акционерное общество «Федеральная сетевая компания  
Единой энергетической системы»  
Российский национальный комитет международного совета по большим  
электрическим системам высокого напряжения (РНК СИГРЭ)  
Благотворительный фонд «Надежная смена»

ТИНЧУРИНСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2021  
«ЭНЕРГЕТИКА И ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ»

Международная молодежная научная конференция  
(Казань, 28–30 апреля 2021 г.)

Материалы конференции

В трех томах

Том 2

ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

*Под общей редакцией ректора КГЭУ  
Э.Ю. Абдуллазянова*

Казань  
2021

УДК 620.9:004  
ББК 31.3  
Т42

Рецензенты:

канд. техн. наук, зав. кафедрой «Электрические станции» ФГБОУ ВО «СамГТУ»  
доц. А.С. Ведерников;  
д-р техн. наук, проректор по НР ФГБОУ ВО «КГЭУ» И.Г. Ахметова

Редакционная коллегия:

Э.Ю. Абдуллазянов (гл. редактор), И.Г. Ахметова (зам. гл. редактора),  
А.Г. Арзамасова

Т42      **Тинчуринские чтения – 2021 «Энергетика и цифровая трансформация. В 3 т. Т. 2. Теплоэнергетика: матер. Междунар. молод. науч. конф. (Казань, 28–30 апреля 2021 г.) / под общ. ред. ректора КГЭУ Э. Ю. Абдуллазянова. – Казань: ООО ПК «Астор и Я», 2021. – 455 с.**

ISBN 978-5-6046580-4-8 (т. 2)  
ISBN 978-5-6046580-3-1

Опубликованы материалы Международной молодежной научной конференции «Тинчуринские чтения – 2020 «Энергетика и цифровая трансформация», в которых изложены результаты научно-исследовательской работы молодых ученых, аспирантов и студентов по проблемам в области теплоэнергетики по следующим научным направлениям: электроэнергетические системы и сети, надежность, диагностика; электроснабжение; промышленная электроника и светотехника, электрические и электронные аппараты; перспективные материалы и направления развития физики, химии, математики и материаловедения; электротехнические комплексы и системы; энергоэффективность и энергобезопасность производства; системная автоматика, релейная защита и противоаварийное управление в электроэнергетических системах; инженерная защита окружающей среды и безопасность труда на производстве; возобновляемые источники энергии и безопасность; контроль, автоматизация и диагностика электроустановок электрических станций и подстанций.

Предназначены для научных работников, аспирантов и специалистов, работающих в сфере энергетики, а также для студентов вузов энергетического профиля.

Материалы публикуются в авторской редакции. Ответственность за их содержание возлагается на авторов.

УДК 620.9:004  
ББК 31.3

ISBN 978-5-6046580-4-8 (т. 2)  
ISBN 978-5-6046580-3-1

© КГЭУ, 2021  
Оформление ООО ПК «Астор и Я», 2021

3. Дмитриев А.В., Зинуров В.Э., Гумерова Г.Х. Оценочный расчет процесса теплообмена в камере сгорания при сжигании природного газа // Вестник технологического университета. 2018. Т. 21, № 2. С. 99–103.

4. Снижение энергетических затрат при отводе низкопотенциального тепла от оборотной воды путем использования блока оросителя с гофрированными перфорированными пластинами / В.Э. Зинуров [и др.] // Вестник технологического университета. 2019. Т. 22, № 10. С. 57–61.

5. Шинкевич Т.О., Попкова О.С., Шинкевич О.П. Компрессионные тепловые насосы в системах отопления // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2011. № 68. С. 125–136.

УДК 621.928

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФРАКЦИОНИРОВАНИЯ СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА В КЛАССИФИКАТОРЕ С СООСНО РАСПОЛОЖЕННЫМИ ТРУБАМИ

А.Р. Галимова<sup>1</sup>, В.Э. Зинуров<sup>2</sup>, А.С. Сергеева<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

vadd\_93@mail.ru

Науч. рук. А.В. Дмитриев

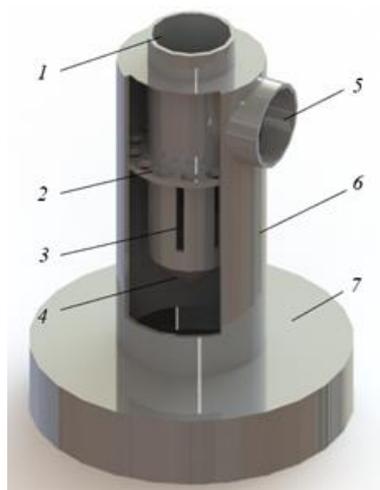
На сегодняшний день для промышленных предприятий актуальной и приоритетной задачей является повышение эффективности производственных процессов. Одним из путей является использование уловленного материала в различных технологических процессах. Улавливание механических примесей осуществляется на узлах очистки газа на компрессорных станциях. Существующие аппараты, в частности циклонные сепараторы, с данной задачей справляются с низкой эффективностью. Предложена конструкция классификатора с соосно расположенными трубами. Описан принцип его действия. Представлены результаты процесса моделирования классификации различных механических примесей в программном комплексе ANSYS Fluent. Проведенные исследования показали, что при использовании классификатора с конусообразной внутренней трубой достигается максимальная эффективность фракционирования механических примесей. Достоинствами предложенного классификатора с соосно расположенными трубами являются высокая эффективность и простота конструкции.

**Ключевые слова:** классификатор, улавливание частиц, фракционирование, сыпучий материал.

Очистка газового потока от различных механических примесей на узлах очистки газа на компрессорных станциях является важной задачей, так как предотвращает их попадание в технологические

трубопроводы, оборудование и другие места [1–3]. Следует отметить, что часть механических примесей представляет собой ценный материал, который можно использовать в различных технологических процессах [4–6]. Однако этот материал должен быть дополнительно классифицирован на фракции. В качестве классификаторов зачастую используются циклонные сепараторы, но вследствие того, что они не позволяют улавливать мелкодисперсные частицы размером менее 10 мкм, их область действия сужается. Поэтому разработка новых аппаратов для классификации механических примесей является актуальной задачей [7, 8].

Разработан классификатор с соосно расположенными трубами, конструкция аппарата представлена на рисунке.



Трехмерная модель классификатора с соосно расположенными трубами: 1 – входной патрубок; 2 – решетка с соосно расположенными трубами; 3 – прямоугольные отверстия; 4 – отверстие; 5 – выходной патрубок; 6 – корпус устройства; 7 – бункер

Принцип действия классификатора заключается в том, что запыленный газовый поток входит в устройства через входной патрубок 1, далее проходит в нижнюю часть устройства по цилиндрической трубе до прямоугольных отверстий 2, протекая через них газовый поток попадает во внутреннюю часть классификатора, где поток начинает вращаться и двигаться в верхнюю часть устройства к решетке с соосно расположенными трубами 2. При вращении газового потока частицы выбиваются из своей структуры и падают в бункер 7. Очищенный газовый поток выходит через выходной патрубок 5. Достоинствами предложенного классификатора с соосно расположенными трубами являются высокая эффективность, простота конструкции и относительно низкие финансовые затраты.

Моделирование процесса классификации различных механических примесей было выполнено в программном комплексе ANSYS Fluent. В ходе исследований было установлено, что на процесс классификации влияют различные конструктивные особенности: размер и количество отверстий в решетке, высота цилиндрической трубы и другие размеры классификатора. Проведенные исследования показали, что при использовании классификатора с конусообразной внутренней трубой достигается максимальная эффективность фракционирования механических примесей. Данное решение позволяет достигать большее значение центробежных, инерционных, гравитационных и прочих сил, действующих на запыленный поток. В среднем эффективность классификатора с конусообразной внутренней трубой больше на 35,3 %, чем классификатора с цилиндрической внутренней трубой.

### Источники

1. Очистка газовых выбросов котельных установок от твердых частиц / А.В. Дмитриев [и др.] // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2020. Т. 22, № 1. С. 3–9.
2. Оценка времени работы пылеуловителя со скругленными сепарационными элементами / В.Э. Зинуров [и др.] // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2020. Т. 24, № 3. С. 606–615.
3. Пылеуловитель-классификатор с соосно расположенными трубами: пат. 201604 Рос. Федерация № 2020128520; заявл. 26.08.2020; опубл. 23.12.2020, Бюл. № 36. 6 с.
4. Исследование влияния конструктивных и физических параметров на структуру движения газового потока в прямоугольном сепараторе / А.В. Дмитриев [и др.] // Вестник технологического университета. 2020. Т. 23, № 3. С. 85–88.
5. Зинуров В.Э., Дмитриев А.В., Мубаракшина Р.Р. Повышение эффективности аспирационных систем при обработке крахмалистого сырья // Ползуновский вестник. 2020. № 2. С. 18–22.
6. Влияние загрязнения пылеочистительного сепаратора мелкодисперсной пылью на энергетические затраты в ходе его эксплуатации / В.Э. Зинуров [и др.] // Вестник технологического университета. 2019. Т. 22, № 8. С. 33–37.
7. Исследование изменения эффективности очистки газового потока от мелкодисперсных частиц прямоугольным сепаратором при разной степени забивки дугообразных элементов пылью / В.Э. Зинуров [и др.] // Вестник технологического университета. 2019. Т. 22, № 8. С. 42–46.

8. Исследование очистки газового потока от различных фракций пылевидных частиц сепаратором трапециевидной формы / В.Э. Зинуров [и др.] // Вестник технологического университета. 2019. Т. 22, № 10. С. 68–71.

УДК 621.565.93

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА ОТ ПАРОГАЗОВОЙ СМЕСИ В РЕКУПЕРАТИВНОМ ТЕПЛООБМЕННОМ АППАРАТЕ С РЕБРИСТОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

А.Р. Галимова<sup>1</sup>, И.И. Мифтахов<sup>2</sup>, Н.Ф. Сахибгареев<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>galimovaar00@mail.ru

Науч. рук. О.С. Попкова

Рассмотрена проблема передачи тепловой энергии от парогазовой смеси с постоянной температурой 220 °С. Представлена конструкция теплообменного аппарата с ребристой поверхностью и описано экспериментальное исследование передачи тепловой энергии от парогазовой смеси. Оребренная поверхность рекуперативного теплообменного аппарата позволила интенсифицировать передачу теплового потока, вследствие возникновения турбулентных завихрений парогазовой среды при ее движении между поперечно расположенными ребрами. В качестве нагреваемого теплоносителя использовалась вода, которую в дальнейшем планируется использовать для технологических и хозяйственных нужд. Изложена методика эксперимента и описаны измерительные приборы. Результаты исследований показали, что время выхода исследуемых параметров (температурный напор, тепловой поток и коэффициент теплопередачи) на стационарный режим составило 265 с. Значение теплового потока и коэффициента теплопередачи в среднем при объемном расходе холодного теплоносителя от 60 до 120 л/ч на стационарном режиме составило 4,3 кВт и 26 Вт/(м<sup>2</sup>·К), соответственно.

**Ключевые слова:** теплообменный аппарат, теплообмен, теплопередача, парогазовая смесь, рекуператор, теплообменная поверхность.

На сегодняшний день большинство промышленных объектов сталкиваются с актуальной задачей – осуществление эффективной передачи тепловой энергии от парогазовых выбросов [1–3]. Зачастую парогазовые выбросы представляют собой безвредную смесь газов, имеющую температуру выше 200 °С, которая выбрасывается в окружающую среду [4, 5]. Передача тепловой энергии от них осуществляется путем применения