ISBN 978-5-6046580-4-8

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

Материалы конференции

2

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

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

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[1], И.И. Мифтахов[2], Н.Ф. Сахибгареев[3]
[1,2,3]ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
[1]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 $Вт/\left(м^2 \cdot К\right)$, 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

рекуперативных теплообменных аппаратов, представляющих собой устройства поверхностного типа, в которых теплообмен происходит непрерывно между теплоносителями через разделяющую их стенку [6–8].

Целью данной работы является экспериментальное исследование теплообмена от парогазовой смеси при передаче тепла через ребристую поверхность на промышленном предприятии.

Подобрана конструкция рекуперативного теплообменного аппарата с ребристой поверхностью. Теплообменник представляет собой *U*-образную трубу с ребрами, а также имеет прямоугольную пластину для его крепления к воздуховоду и соединительную гофру. Оребрение трубы происходило методом навивки. Внутренняя поверхность трубы гладкая. Выполненное поперечное оребрение трубы позволяет максимально развить теплообменную поверхность в единице объема и существенно повысить показатели компактности и удельной металлоемкости.

Методику проведения эксперимента можно описать следующим образом: холодная вода непрерывно подводилась из резервуара воды, располагающегося на территории предприятия, в емкость объемом 20 л с наличием в ней погружного насоса с допустимым повышением давления до 2–3 бар, который транспортировал холодный теплоноситель (воду) в теплообменный аппарат с ребристой поверхностью. При этом в емкости для контроля начальной температуры холодной воды была установлена термопара, для подачи фиксированного расхода воды применялся ротаметр серии MBC-V-S-W-160 (поплавковый расходомер). Данный вид ротаметра позволял регулировать объемный расход G_V холодной воды в диапазоне от 10 до 120 л/ч. После отбора тепловой энергии у парогазовой смеси холодным теплоносителем через разделяющую их теплообменную поверхность, нагретая вода выходила из выходного отверстия теплообменника, в котором было установлено устройство для измерения температуры – восьмиканальный регулятор ОВЕН ТРМ 138. Далее нагретая вода удалялась в канализацию. Таким образом, в ходе проведения серии экспериментов фиксировались начальная и конечная температуры холодного теплоносителя (воды).

Проведенное экспериментальное исследование теплообмена от парогазовой смеси при передаче тепла через ребристую поверхность позволило подтвердить целесообразность и рентабельность врезки в воздуховод теплообменника для нагрева воды, которая будет применяться в технологических и хозяйственных нуждах. Оребренная поверхность рекуперативного теплообменного аппарата позволила интенсифицировать отвод

теплового потока, вследствие возникновения турбулентных завихрений парогазовой среды при ее движении между поперечно расположенными ребрами.

В ходе проведения ряда промышленных экспериментов было установлено, что время выхода на стационарный режим составляет 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 $\text{Вт}/\left(\text{м}^2 \cdot \text{К}\right)$ соответственно. Полученные результаты позволили установить, что коэффициент теплопередачи обратно пропорционален термическому сопротивлению парогазовой фазы.

Источники

1. Анализ прогрева форм из различных материалов / А.В. Дмитриев [и др.] // Вестник технологического университета. 2016. Т. 19, № 20. С. 52–53.

2. Попкова О.С., Файзуллина А.И., Гильфанов К.Х. Определение параметров для эффективного горения малосернистого мазута // Научный журнал КубГАУ. 2017. № 132. С. 101–105.

3. Кочнева О.С., Павлов Г.И., Сахабутдинов Ж.М. Экспериментально-теоретические исследования нестационарного взаимодействия горящей капли с акустическим потоком газа в трубе // Вестник казанского технологического университета. 2007. № 3. С. 137–143.

4. Сахабутдинов Ж.М., Кочнева О.С., Павлов Г.И. Анализ термически возбуждаемых пульсационных колебаний газа в цилиндрической трубе // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2004. № 3/4. С. 13–26.

5. Шинкевич Т.О., Попкова О.С., Шинкевич О.П. Компрессионные тепловые насосы в системах отопления // Научный журнал КубГАУ. 2011. № 68. С. 125–136.

6. 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

7. 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.

8. Шацкий В.П., Гулевский В.А., Спирина Н.Г. Моделирование работы пластинчатых теплообменников-рекуператоров // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2014. Т. 2, № 4-2. С. 323–326.

УДК 621.928.6

РАЗДЕЛЕНИЕ СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА В КЛАССИФИКАТОРЕ

А.Р. Зарипов[1], В.А. Суганова[2]
[1]ФГБОУ ВО «КНИТУ-КАИ», г. Казань
[2]ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
[1]angelzar2@yandex.ru
Науч. рук. О.С. Попкова

Рассмотрена проблема классификации сыпучего материала. Показано, что применяемые аппараты имеют ряд недостатков при разделении мелкодисперсных частиц. Предложена конструкция классификатора с соосно расположенными трубами. Показано, что конструктивное оформление устройства позволяет создавать центробежные силы высоких значений. В докладе представлена газодинамика в классификаторе с соосно расположенными трубами, полученная в программном комплексе ANSYS Fluent.

Ключевые слова: классификатор, сепаратор, сепарация частиц, улавливание частиц, центробежная сила, межтрубное пространство.

Важной задачей при производстве тонкодисперсного сыпучего материала является разделение на различные фракции [1–3]. Для разделения сыпучего материала на требуемые фракции используются классификаторы, например, циклонные сепараторы, в которых разделение сыпучего материала осуществляется за счет действия центробежных сил. Первая часть сыпучего порошка из бункера циклона, в виде уловленного материала возвращается в мельницу на повторное измельчение, вторая часть мелкодисперсного порошка, диспергированная в газовом потоке из выходного патрубка циклона, подается в рукавные фильтры, в которых мелкодисперсные частицы улавливаются и далее извлекается в виде конечного продукта. Недостатком применения циклонных сепараторов для фракционирования сыпучего материала на основе силикагеля является их низкая селективность, приводящая к частичной потере ресурсов при повторной транспортировке материала на измельчение в мельницу из циклона и дополнительным энергетическим затратам [4–6].