

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Казанский национальный исследовательский технический университет  
им. А.Н. Туполева-КАИ  
Белорусская государственная академия авиации  
Белорусский государственный технологический университет  
Белорусский государственный университет  
Белорусский национальный технический университет  
Кыргызский авиационный институт им. А. Абдраимова  
Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова



**Международная молодежная  
научная конференция  
«XXVI ТУПОЛЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ  
(школа молодых ученых)»,**

**посвященная 100-летию  
со дня основания гражданской авиации России**



**МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ**

**СБОРНИК ДОКЛАДОВ**

**Казань 2023**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Казанский национальный исследовательский технический университет  
им. А.Н. Туполева-КАИ  
Белорусская государственная академия авиации  
Белорусский государственный технологический университет  
Белорусский государственный университет  
Белорусский национальный технический университет  
Кыргызский авиационный институт им. А. Абдраимова  
Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова



**Международная молодежная  
научная конференция**

**«XXVI ТУПОЛЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ  
(школа молодых ученых)»,**

**посвященная 100-летию  
со дня основания гражданской авиации России**



**МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ**

**СБОРНИК ДОКЛАДОВ**

Электронное издание

Казань 2023

© Оформление.  
Изд-во ИП Сагиев А.Р., 2023  
ISBN 978-5-6050749-0-8

УДК 629.7(082)  
ББК 39.5Я43  
Д22

Д22 XXVI Туполевские чтения (школа молодых ученых): Международная молодёжная научная конференция, 9-10 ноября 2023 года: Материалы конференции. Сборник докладов. – Казань: ИП Сагиев А.Р., 2023. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – ISBN 978-5-6050749-0-8. – Загл. с титул. экрана. – Текст: электронный.

Систем. требования: Intel от 1,3 ГГц; Windows XP/Vista/10; дисковод CD-ROM; Adobe Reader.

ISBN 978-5-6050749-0-8

В сборнике представлены тексты докладов участников Международной молодёжной научной конференции «XXVI Туполевские чтения (школа молодых ученых)», посвященные актуальным вопросам и проблемам развития аэрокосмических технологий, машиностроения, энергетики, приборостроения, информационных, инфокоммуникационных, радиоэлектронных технологий, а также социально-экономические аспекты создания аэрокосмической техники.

*Материалы докладов публикуются в авторской редакции.  
Ответственность за аутентичность и точность имен, названий и иных сведений,  
а также за соблюдение законов об интеллектуальной собственности  
несут авторы публикуемых материалов.*

Редакционная коллегия:

**Бабушкин В.М.**, д.т.н., доцент; **Беляев В.А.**, д.полит.н., профессор;  
**Вершинин И.С.**, к.т.н., доцент; **Гайнутдинов В.Г.**, д.т.н., профессор;  
**Галимов Э.Р.**, д.т.н., профессор; **Гатауллина И.А.**, д.и.н., доцент;  
**Гортышов Ю.Ф.**, д.т.н., профессор; **Денисов Е.С.**, к.т.н., доцент;  
**Евдокимов Ю.К.**, д.т.н., профессор; **Зайдуллин С.С.**, к.т.н., доцент;  
**Костин В.А.**, д.т.н., профессор; **Кузнецов А.А.**, д.т.н., доцент;  
**Кузнецов С.П.**, к.т.н., доцент; **Муравьева Е.В.**, д.п.н., профессор;  
**Насыбуллин А.Р.**, к.т.н., доцент; **Новикова С.В.**, д.т.н., профессор;  
**Павлов Г.И.**, д.т.н., профессор; **Першин Е.А.**, к.т.н. доцент;  
**Сабитов Р.А.**, к.т.н., доцент; **Сайткулов В.Г.**, д.т.н., профессор;  
**Сиразетдинов Р.Т.**, д.т.н., доцент; **Солодухо Н.М.**, д.филос.н., профессор;  
**Тимеркаев Б.А.**, д.ф.-м.н., профессор; **Тунакова Ю.А.**, д.х.н., профессор;  
**Ференец А.В.**, к.т.н., доцент; **Халиулин В.И.**, д.т.н., профессор;  
**Чермошенцев С.Ф.**, д.т.н., профессор; **Шарнин Л.М.**, д.т.н., профессор;  
**Швеев А.И.**, к.т.н., доцент; **Шлеймович М.П.**, к.т.н., доцент;  
**Юдина С.В.**, д.э.н., доцент; **Якупов З.Я.**, к.ф.-м.н., доцент;  
**Янбаев Р.М.**, к.т.н., доцент; **Яхина Р.Р.**, к.фил.н., доцент.

ISBN 978-5-6050749-0-8

© Авторы докладов 2023  
© Оформление.  
Изд-во ИП Сагиев А.Р., 2023

**RESEARCH OF THE EFFECT OF A HEAT TRANSFER  
INTENSIFIER ON IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY  
OF A GAS BURNER FOR A HOUSEHOLD STOVE***Badanov N.**N.S.Badanov@yandex.ru*

Supervisor: K. Altunin, Candidate of Engineering Sciences

*(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan)*

This article presents the results of experiments with a gas burner of a household stove in which, in order to increase its energy efficiency, a heat transfer intensifier in the form of a threaded rod was installed, as well as a threaded rod with two longitudinal sections.

УДК 536.24

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ  
РЕКУПЕРАТИВНОГО ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА  
С РЕБРИСТОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ***Бадретдинова Г.Р.<sup>1</sup>, Абдуллина А.А.<sup>1</sup>, Зинуров В.Э.<sup>1</sup>**azalkaabdullina69826@gmail.com*Научный руководитель: В.В. Харьков<sup>2</sup>, к. т. н.*(<sup>1</sup>Казанский государственный энергетический университет, г. Казань;**<sup>2</sup>Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева - КАИ, г. Казань)*

Рекуперативные теплообменники широко используются в промышленности для охлаждения парогазовых смесей. В данной работе приводятся результаты экспериментального исследования процесса теплообмена в рекуперативном трубчатом теплообменнике при передаче тепла через его ребренную поверхность.

**Введение**

В промышленности проблема охлаждения парогазовых выбросов, представляющих собой нетоксичных газов и паров с температурой выше 200 °С, является актуальной [1, 2]. Для охлаждения этих смесей часто применяются рекуперативные теплообменники, которые представляют собой аппараты поверхностного типа с теплопередачей через разделяющую стенку. Вода благодаря высокому значению теплоемкости обычно используется в качестве теплоносителя, который затем может быть использован для нужд промышленных объектов. В следствие различных конструкционных и технических особенностей выделяют следующие рекуперативные теплообменные аппараты: змеевиковые, кожухотрубчатые, спиральные, секционные, ребристые, пластинчатые и прочие. Выбор аппарата зависит от различных факторов, например, температура теплоносителя, давление рабочей среды, используемая для аппарата площадь и иные факторы [3]. Следует отметить, что для охлаждения парогазовых выбросов наиболее рациональными являются рекуперативные теплообменные аппараты, в которых используются ребристые поверхности и змеевики, так как они могут выдерживать давление порядка 9 МПа, а также высокие температуры значением около 450 °С. Однако при передаче тепловой энергии от парогазовых выбросов на поверхность теплообменника образуется конденсат, который может ухудшить теплопередачу между теплоносителями [4].

Поэтому необходим адекватный расчет площади поверхности теплообмена аппарата с учетом всех факторов, оказывающих влияние на протекание теплообмена. Существуют данные о том, что расчет может быть затруднен неизвестным составом газа и количеством

образующегося конденсата, поэтому целесообразным является проведение упрощенного расчета и физического эксперимента для дополнения теплового расчета теплообменного аппарата.

### Методика работы

На рис. 1 показан разработанный рекуперативный теплообменный аппарат с наружной оребренной поверхностью для охлаждения высокотемпературной парогазовой смеси. Конструкция включает изогнутую U-образную трубу с наружными поперечными ребрами, соединительный калач, емкость для хладоносителя, и металлическую пластину для монтажа устройства к воздушной системе. В процессе течения газа между ребрами, расположенными поперек, возникают локальные турбулентные завихрения, которые способствуют интенсификации передачи энергии газа к стенкам трубчатого теплообменника. Также можно отметить гладкую внутреннюю поверхность труб и их поперечное оребрение, что позволяет увеличить теплообменную поверхность, а также такие показатели как: компактности и удельная металлоемкость [5, 6].



Рис. 1. Рекуперативный теплообменный аппарат с ребристой поверхностью

В ходе эксперимента расход холодной воды, протекающей внутри трубчатого теплообменника, изменялся от 60 до 120 л/ч. Температура воды измерялась на выходе из устройства, после чего она отправлялась в канализацию. Температура парогазовой смеси была мониторилась в режиме реального времени и была постоянной (220 °С). Начальная температура холодной воды варьировалась от 28,8 до 31,9 °С. Продолжительность каждого опыта была 9 мин.

Перепад температур  $\Delta t$  (°С) воды определялся по следующей формуле:

$$\Delta t = t_{L2} - t_{L1}, \quad (1)$$

где  $t_{L2}$  – температура воды на выходе из теплообменного аппарата с ребристой поверхностью, °С;  $t_{L1}$  – температура воды на входе в аппарат, °С.

Отметим, что в рамках данного исследования, процесс конденсации не учитывался в расчетах. Это связано из-за небольшой площади поверхности теплообмена оребренной трубы и при относительно высокой скорости высокотемпературного теплоносителя, наблюдается мгновенный унос и испарение конденсата.

Следовательно, при пренебрежении потерями тепла в окружающую среду, тепловой поток  $Q$  (кВт), отводимый от горячей парогазовой смеси холодной водой можно вычислить по формуле:

$$Q = \frac{G_v \rho C_p \Delta t}{3600 \cdot 10^3}, \quad (2)$$

где  $G_v$  – объемный расход холодной воды, м<sup>3</sup>/с;  $\rho$ ,  $C_p$  – плотность и удельная изобарная теплоемкость холодной воды, протекающей внутри трубчатого теплообменника.

Температурный напор,  $\bar{T}$  (°С) определяется по следующему выражению:

$$\bar{T} = t_2 - \frac{t_{12} - t_{11}}{2}, \quad (4)$$

где  $t_2$  – температура высокотемпературного теплоносителя (парогазовой смеси), °С.

### Результаты исследования

Установлено, что время выхода на стационарный режим исследуемых параметров (температурный напор и тепловой поток) было 265 с. При обработке экспериментальных данных были построены временные зависимости для температурного напора  $\Delta t$  и теплового потока  $Q$ , полученные при различных значениях объемных расходов хладоносителя (рис. 2–3).

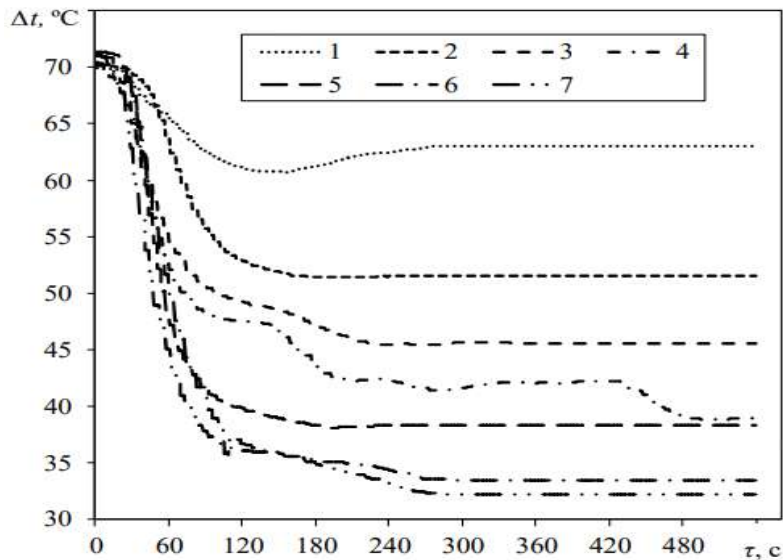


Рис. 2. Временная зависимость изменения температурного перепада холодной воды на входе и на выходе теплообменника при ее различных расходах  $G_V$ , л/ч:  
1 – 60; 2 – 70; 3 – 80; 4 – 90; 5 – 100; 6 – 110; 7 – 120

Найдено, что при выходе на стационарный режим и при изменении расхода холодной воды от 60 до 120 л/ч, температурный перепад  $\Delta t$  изменяется от 32,2 до 63,0 °С, причем наибольший  $\Delta t$  равен 71 °С для всех расходов  $G_V$ .

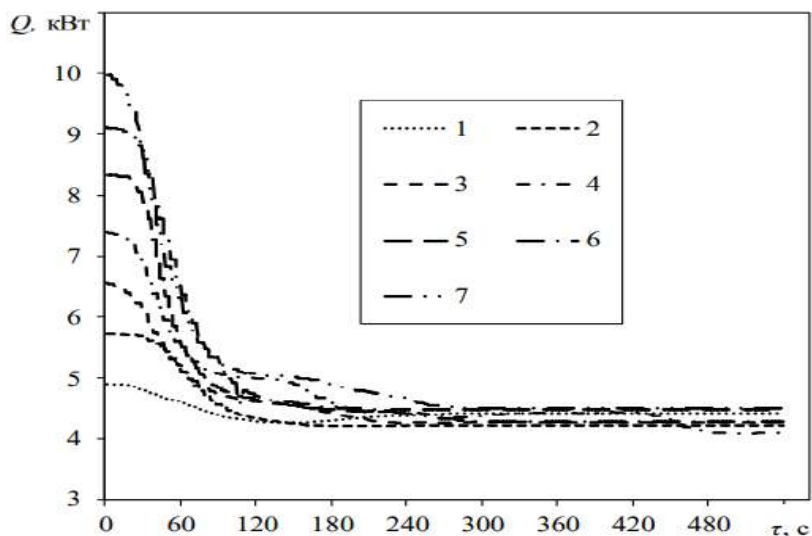


Рис. 3. Временная зависимость изменения теплового потока при различных расходах холодной воды  $G_V$ , л/ч:  
1 – 60; 2 – 70; 3 – 80; 4 – 90; 5 – 100; 6 – 110; 7 – 120

Так как дискретный опыт делался при разном объемном расходе хладоносителя, начиная после выхода на стационарный режим значения температуры стенки оребренной трубы теплообменника, то в течении нескольких десятков секунд на выходе из устройства наблюдался паровой эффект. Рост значения объемного расхода холодной воды способствует уменьшению продолжительности образования пара. Пиковые значения времени образования пара составляет 5 с (наименьшее) и 17 с (наибольшее). Найдено, что увеличение расхода холодной воды способствует уменьшению температурной разности при выходе на стационарный режим. Например, согласно рис. 2 при расходе  $G_V$  равным 60, 70, 80, 90, 100, 110 и 120 л/ч перепад температур на стационарном режиме примерно равен 64,0, 51,7, 45,4, 39,0, 78,3, 33,1 и 32,7 °С, соответственно.

На рис. 3 показано, что пиковые значения теплового потока от парогазовой смеси при равны 9,9 и 4,9 кВт, соответственно. Так, при объемном расходе холодной воды равным 60, 70, 80, 90, 100, 110 и 120 л/ч количество тепла, отводимого от парогазовой смеси на стационарном режиме, составляет около 4,4, 4,2, 4,2, 4,1, 4,4, 4,3 и 4,5 кВт. Таким образом, осредненный  $Q$  при выходе значений на стационарный режим равно 4,3 кВт, а максимальное отклонение от среднего значения составляет не более 5,2%.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Аничхин А. Г. Повышение теплоотдачи рекуперативных теплообменников / А. Г. Аничхин // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2011. № 11 (119). С. 50-53
2. Голованчиков А. Б. Моделирование процесса нагревания воздуха конденсирующимся паром в двухтрубном теплообменнике / А. Б. Голованчиков, С. Б. Воротнева, Н. А. Дулькина // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2016. Том 22. № 2. С. 255-263.
3. Дмитриев А. В. Оценочный расчет процесса теплообмена в камере сгорания при сжигании природного газа / А. В. Дмитриев, В. Э. Зинуров, Г. Х. Гумерова // Вестник технологического университета. 2018. Том 21. № 2. С. 99-103.
4. Харьков, В. В. Моделирование тепло- и массообмена при концентрировании соков в вихревой камере / В. В. Харьков // Научно-технический вестник Поволжья. – 2016. – № 1. – С. 37-44.
5. Зинуров, В. Э. Экспериментальное исследование теплообмена от парогазовой смеси при передаче тепла через ребристую поверхность / В. Э. Зинуров, А. В. Дмитриев, И. И. Шарипов, А. Р. Галимова // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. 2021. Том 7. № 2 (26). С. 60-74. DOI: 10.21684/2411-7978-2021-7-2-60-74
6. Зинуров, В. Э. Исследование теплообмена от парогазовой смеси при передаче тепла через ребристую поверхность / В. Э. Зинуров А. Р. Галимова, Г. Р. Бадретдинова, И. В. Санников // Международная научно-техническая конференция «Состояние и перспективы развития электро- и теплотехнологии» (XXI Бенардосовские чтения), посвященной 140-летию изобретения электросварки Н.Н. Бенардосом (г. Иваново, 2-4 июня), 2021. – С. 241 – 243.

#### EXPERIMENTAL STUDY OF A REGENERATIVE HEAT EXCHANGER WITH RIBBED SURFACE

*Badretdinova G.<sup>1</sup>, Abdullina A.<sup>1</sup>, Zinurov V.<sup>1</sup>*

*azalkaabdullina69826@gmail.com*

Supervisor: V. Kharkov<sup>2</sup>, Candidate of Engineering Sciences

*(<sup>1</sup>Kazan State Power Engineering University, Kazan;*

*<sup>2</sup>Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)*

Recuperative heat exchangers are widely used in the industry for cooling steam gas mixtures.