



УДК 621.43.056

## РАСЧЕТ ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА ДЛЯ ИСПАРЕНИЯ КЕРОСИНА ВЫХЛОПНЫМИ ГАЗАМИ ГТД

### CALCULATION OF THE HEAT EXCHANGER FOR EVAPORATION OF KEROSENE BY EXHAUST GASES GTE

**Гараев Алмаз Ильшатович**

студент,  
Казанский национальный исследовательский технический  
университет им. А.Н. Туполева – КАИ

**Бакланов Андрей Владимирович**

кандидат технических наук, доцент кафедры РДЭУ,  
Казанский национальный исследовательский технический  
университет им. А.Н. Туполева – КАИ  
almazsdf@mail.ru

**Аннотация.** В данной работе предложен способ испарения керосина горячими газами, формируемыми газотурбинным двигателем. Разработана методика расчета теплообменного аппарата необходимого для обеспечения испарения керосина.

**Ключевые слова:** расчет, теплообменный аппарат, испарение керосина.

**Garaev Almaz Ilshatovich**

Student,  
Kazan National Research  
Technical University  
named after A.N. Tupolev – KAI

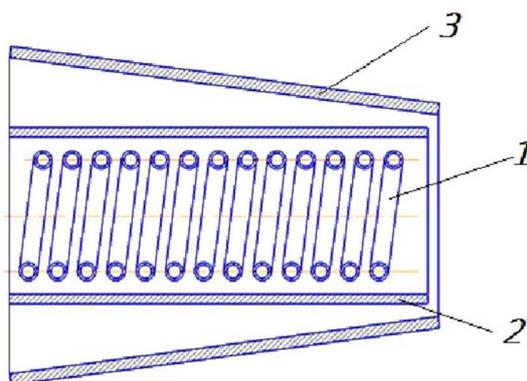
**Baklanov Andrey Vladimirovich**

Candidate of technical sciences,  
Associate Professor JEPF,  
Kazan National Research  
Technical University  
named after A.N. Tupolev – KAI  
almazsdf@mail.ru

**Annotation.** In this paper we propose a method for vaporizing kerosene with hot gases generated by a gas turbine engine. A method for calculating the heat exchanger required to ensure the evaporation of kerosene has been developed.

**Keywords:** payment, heat exchanger, kerosene vapor.

Камеры сгорания газотурбинных установок работают на газообразном топливе [1]. Перед постановкой на двигатель необходимо провести испытания камер сгорания для определения температурного поля на выходе, потерь давления, устойчивости запуска и других характеристик. Для проведения испытаний камер сгорания ГТУ необходимо обеспечить подвод газообразного топлива к исследуемой камере [2]. В случае, когда отсутствует природный газ, но в наличии есть керосин, то представляется возможным выполнять подвод испаренного керосина к испытываемой камере. Зачастую в качестве воздухоподогревателя для стенда испытаний камер сгорания используется газотурбинный двигатель, имеющий отборы воздуха, подводимого к камере [3]. На выходе из двигателя происходит истечение высокотемпературных газов, которые можно использовать для испарения керосина. Для этих нужд необходим теплообменный аппарат. Он (рис. 1) содержит змеевик 1, расположенный в цилиндрическом кожухе 2, который устанавливается на выходе из сопла 3 газотурбинного двигателя.



**Рисунок 1** – Схема теплообменного аппарата

Расчет теплового потока и потребной длины трубки на участке нагревания керосина до температуры кипения.

Скорость газа на срезе сопла:

$$V_{\Gamma} = \frac{G_{\Gamma}}{\rho_{\Gamma} \cdot F_{\Gamma}}$$



Число Рейнольдса:

$$Re_{\Gamma} = \frac{V_{\Gamma} \cdot d_{\text{нар}}}{\nu_{\Gamma}},$$

где  $\nu_{\Gamma}$  – кинематическая вязкость.

При последовательном расположении трубок в теплообменнике и  $Re_{\Gamma} = 2 \times 10^2 \dots 2 \times 10^5$  безразмерный коэффициент теплоотдачи вычисляется по формуле:

$$Nu_{\Gamma} = 0,02 \cdot Re_{\Gamma}^{0,65} \cdot Pr_{\Gamma}^{0,33} \cdot \left( \frac{Pr_{\Gamma}}{Pr_{\Gamma, \text{СТ.}}} \right)^{0,25}.$$

Коэффициент теплоотдачи от газа к стенке трубки [4]:

$$\alpha_{\Gamma} = \frac{Nu_{\Gamma} \cdot \lambda_{\Gamma}}{d_{\text{нар}}},$$

где  $\lambda_{\Gamma}$  – коэффициент теплопроводности.

Средняя скорость керосина в трубке:

$$V_{\text{К}} = \frac{G_{\text{К}}}{\rho_{\text{К}} \cdot F_{\text{ТР}}}.$$

Число Рейнольдса:

$$Re_{\text{К}} = \frac{V_{\text{К}} \cdot d_{\text{ВН}}}{\nu_{\text{К}}}.$$

Течение турбулентное ( $Re > 1 \times 10^4$ ).

Безразмерный коэффициент теплоотдачи вычисляется по формуле:

$$Nu_{\text{К}} = 0,021 \cdot Re_{\text{К}}^{0,8} \cdot Pr_{\text{К}}^{0,43} \cdot \left( \frac{Pr_{\text{К}}}{Pr_{\text{К,СТ}}} \right)^{0,25}.$$

где  $Pr$  – число Прандтля.

Поправочный коэффициент для изогнутых труб:

$$S_{\text{R}} = 1 + 1,77 \cdot \left( \frac{d_{\text{ВН}}}{R_3} \right).$$

Коэффициент теплоотдачи от стенки трубки к керосину:

$$\alpha_{\text{К}} = S_{\text{R}} \cdot \frac{Nu_{\text{К}} \cdot \lambda_{\text{К}}}{d_{\text{ВН}}}.$$

Плотность теплового потока [5]:

$$q = \frac{t_{\Gamma} - t_{\text{КСР}}}{\frac{1}{\alpha_{\Gamma}} + \frac{\delta_{\text{СТ}}}{\lambda_{\text{СТ}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{К}}}}.$$

Проверка температуры на стенке трубки:

$$t_{\text{СТ}} = t_{\text{КСР}} + q \cdot \frac{1}{\alpha_{\text{К}}},$$



$$t_{CT} = t_{\Gamma} - q \cdot \frac{1}{\alpha_{\Gamma}}.$$

Количество аккумулируемого тепла, необходимо для нагревания керосина до температуры кипения:

$$Q_{\text{нагр}} = Q_{180^{\circ}} - Q_{20^{\circ}} = G_{\text{к}} \cdot C_{\text{к}} (t_{\text{к2}} - t_{\text{к1}}) \tau.$$

Потребная площадь поверхности трубки:

$$F_{\text{пов.нагр}} = \frac{Q_{\text{нагр}}}{q}.$$

Потребная длина трубки:

$$l_{\text{тр.нагр}} = \frac{F_{\text{пов}}}{\pi \left( \frac{d_{\text{вн}} + d_{\text{нар}}}{2} \right)}.$$

Произведя расчет теплового потока и потребной длины трубки на участке испарения керосина по аналогии с представленным выше расчетом производится расчет геометрии теплообменника.

Длина витка змеевика:

$$L_{\text{ВИТ}} = \pi \cdot D_3.$$

Суммарная длина топливной трубки в змеевике:

$$L_{\text{ТР}} = L_{\text{тр.нагр.}} + L_{\text{тр.исп.}}$$

Число витков змеевика:

$$n = \frac{L_{\text{ТР}}}{L_{\text{ВИТ}}}.$$

Длина змеевика при шаге между витками:

$$L_{\text{Ш}} = d_{\text{нар.}} \cdot 3,$$

$$L_3 = L_{\text{Ш}} \cdot n.$$

### Выводы:

1. Разработан способ испарения керосина выхлопными газами ГТД.
2. Разработан способ использования испаренного керосина в качестве топлива для проведения испытаний камер сгорания, работающих на газообразном топливе.
3. Разработана методика расчета, позволяющая определить геометрию теплообменника для испарения керосина.

### Литература:

1. Бакланов А.В. Влияние формы насадка вихревой горелки на смешение в закрученной струе / А.В. Бакланов, А.Н. Маркушин, Н.Е. Цыганов // Вестник казанского государственного технического университета имени А.Н. Туполева. – 2014. – № 3. – С. 13–18.
2. Маркушин А.Н. Исследование рабочего процесса камер сгорания в составе ГТД / А.Н. Маркушин, А.В. Бакланов // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. – 2016. – Т. 15. – № 3. – С. 81–89.
3. Бакланов А.В. Малоэмиссионная камера сгорания диффузионного типа с микропламенным горением для конвертированного авиационного газотурбинного двигателя // Вестник Московского авиационного института. – 2017. – Т. 24. – № 2. – С. 57–68.
4. Расчет теплообменника : метод. указания / Сост.: А.Б. Мозжухин, Е.А. Сергеева; Под ред. Н.Ц. Гагатовой. – ТГТУ. – Тамбов, 2001. – 32 с.
5. Расчет теплообменника : метод. указания / Сост.: А.Б. Мозжухин, Е.А. Сергеева. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2007. – 32 с.

**References:**

1. Baklanov A.V. The influence of the shape of the nozzle of a vortex burner on mixing in a swirling stream / A.V. Baklanov, A.N. Markushin, N.E. Tsyganov // Bulletin of Kazan State Technical University named after A.N. Tupolev. – 2014. – № 3. – P. 13–18.
2. Markushin A.N. The study of the process of combustion chambers as part of a gas turbine engine / A.N. Markushin, A.V. Baklanov // Bulletin of Samara University. Aerospace engineering, technology and engineering. – 2016. – Vol. 15. – № 3. – P. 81–89.
3. Baklanov A.V. Low-emission diffusion-type combustion chamber with microflame burning for a converted aviation gas turbine engine // Moscow Aviation Institute Bulletin. – 2017. – Vol. 24. – № 2. – P. 57–68.
4. Calculation of the heat exchanger : method. Instructions / Comp.: A.B. Mozhukhin, E.A. Sergeeva; Edited by N.Ts. Gatapova. – TSTU. – Tambov, 2001. – 32 p.
5. Calculation of the heat exchanger: method. instructions / Comp. : A.B. Mozhukhin, E.A. Sergeeva. – Tambov : Publishing house of Tamb. state tech. University, 2007. – 32 p.