

разработанным математическим моделям эти параметры допустимо исключить из числа оптимизируемых.

Разработанные аппроксимационные модели могут использоваться в выражениях для определения энергетических критериев оценки эффективности, таких как удельный расход рабочего тела и КПД турбопривода в целом. Адекватность полученных выражений обеспечена положительными результатами верификации результатов расчёта по регрессионным моделям с данными натурных и вычислительных экспериментов в широких диапазонах значений режимных и геометрических параметров турбин.

Рекомендуется применять разработанные математические модели при решении задач выбора оптимальных параметров турбины по критериям оценки эффективности турбопривода.

Библиографический список

1. Григорьев В.А., Радько В.М., Калабухов Д.С. Анализ состояния проблемы повышения эффективности турбоприводов сверхмалой мощности и пути её решения // Авиационно-космическая техника и технологии. НАУ ХАИ. -Х.: 2010. №7. С. 168-172.
2. Калабухов Д.С., Григорьев В.А., Радько В.М. Вопросы оптимального проектирования турбин сверхмалой мощности // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. №5, 2014. С. 203-214.
3. Григорьев В.А., Радько В.М., Калабухов Д.С. Планирование факторного эксперимента при испытаниях одноступенчатых турбин сверхмалой мощности // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. 2011. №6. С. 81-91.
4. Орлов А.И. Эконометрика: учебник. - М.: Феникс, 2009. 576 с.

УДК 621.438

НЕЙТРАЛИЗАЦИЯ ЖИДКОЙ ФАЗЫ В ТОПЛИВЕ ГАЗОВОЙ ФОРСУНКИ ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ

©2016 А.Ю. Балакин¹, О.В. Гречишников², С.А. Лебедев², А.Д. Росляков²

¹Самарский государственный университет путей сообщения

²Публичное акционерное общество «КУЗНЕЦОВ», г. Самара

NEUTRALIZING OF LIQUID COMPONENT IN THE FUEL OF GAS TURBINE BURNER

Balyakin A.Y. (Samara State Transport University, Samara, Russian Federation),
Grechishnikov O.V., Lebedev S.A., Roslyakov A.D. ("Kuznetsov" plc, Samara, Russian Federation)

This article contains materials about defect of combustion chamber burner connecting with creation of carbon deposit. They are appeared on inner surface under action of high temperatures and liquid component in the fuel. Using alternative types of fuel creates problem extraction condensate fluid, which provide creation carbon deposit on the burner. Propane, butane are components of alternative types of fuel. They must flow in combustion chamber in the fluid form. It is shown direction solving this problem by utilize heat exchange facility. It is seen variant his installation in gas-air flow duct of gas turbine.

При эксплуатации двигателей имеет место засорение форсунок камеры сгорания углеродистыми отложениями. Данный процесс происходит при наличии в топливе жидких углеводородных включений. Вместе с конденсатом они испаряются на горячей поверхности распылителя и образуют нагар.

Согласно [1] альтернативные виды топлива имеют ограниченные возможности применения на конверсированных газотур-

бинных установках (ГТУ). В случае использования их в качестве источника энергии на промышленных ГТУ, работающих на удалённых нефтегазовых месторождениях, проблема с содержанием жидкой фазы весьма усложняется. Так в состав попутного нефтяного газа входят бутан и пентан. Для двигателя с давлением воздуха в камере сгорания около 2,3 МПа необходимо нагревать их до температуры 125°C и 180°C соответственно

для исключения жидкой фазы. Учитывая, что существующие в настоящее время агрегаты дозирования топлива не приспособлены для работы при таких температурах, подогрев двухфазного газа необходимо выполнять непосредственно перед подачей его в камеру сгорания.

Для реализации этой идеи необходимо применить в составе ГТУ теплообменник.

Испаряя жидкие фракции газового топлива в нём, можно уменьшить объём углеродистых отложений на внутренних поверхностях форсунок. Рассмотрим вариант установки теплообменника за ребрами свободной турбины (рис. 1).

Тепловая нагрузка на испарение и нагрев топлива равна $Q = 330,9$ кВт.

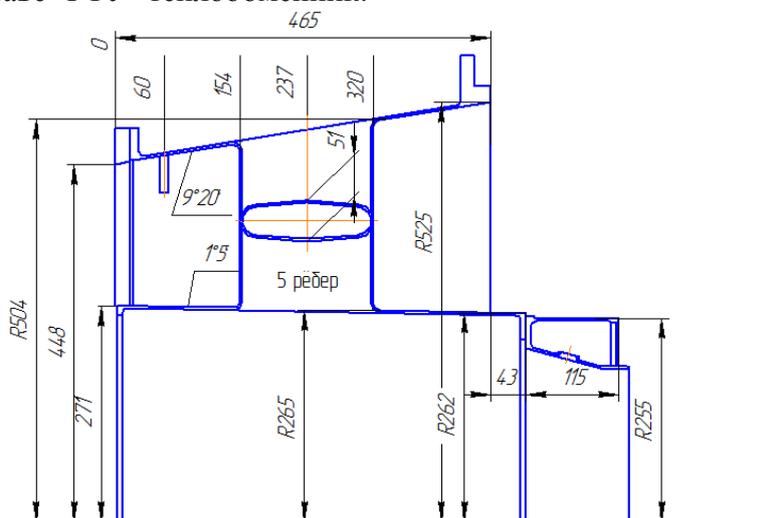


Рис. 1. Схема опоры свободной турбины

В расчёте приняты следующие исходные данные: исходная температура топлива $t_{исх} = 20$ °С; расход топлива $G_T = 0,764$ кг/с; давление топлива на входе в теплообменник $p = 1,2$ МПа, температура газа за опорой свободной турбины $T_6 = 790$ К; расход продуктов сгорания $G_T = 39,8$ кг/с; давление газа за опорой свободной турбины $p_6 = 0,103$ МПа; содержанием пропана 50 %, бутана 44 % и пропилена 6 %; с целью унификации теплообменников для перевода в газообразное состояние широкого спектра углеводородов принимаем температуру подачи газа в камеру сгорания $t_{под} = 180$ °С.

При заявленном давлении пропилен и пропан испаряются при температурах -10 °С и -4 °С соответственно и поступают в теплообменник в газообразном состоянии. Для бутана требуется дополнительное количество энергии для нагрева до температуры 44 °С и испарения.

Общая площадь канала между рёбрами опоры равна $F = 0,6253$ м².

Определяем безразмерную скорость газа за рёбрами опоры:

$$q(\lambda) = \frac{G_T \sqrt{T_6^*}}{p_6^* \cdot F \cdot m_T};$$

$$q(\lambda) = \frac{39,8 \sqrt{790}}{1,03 \cdot 10^4 \cdot 0,6253 \cdot 0,389} = 0,4465.$$

По газодинамическим функциям для $k = 1,33$ получаем $\lambda_{вх} = 0,295$,

$a_{кр} = 18,3 \sqrt{790} = 514,3$ м/с и скорость воздуха $w = \lambda_{вх} \cdot a_{кр} = 151,7$ м/с

Число Рейнольдса:

$$Re = \frac{w \cdot l}{\nu} = \frac{151,7 \cdot 0,26}{7,6 \cdot 10^{-5}} = 5,2 \cdot 10^5.$$

Критерий Нуссельта: $Nu = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda_{ж}}$,

где α – коэффициент теплоотдачи (между наружной поверхностью теплообменника и трактовым газом, который является рабочим телом двигателя), Вт/(м² · К);

$\lambda_{ж} = 0,0656$ Вт/(м · К) – теплопроводность газа при $T_6 = 790$ К, Вт/(м · К).

Коэффициенты теплоотдачи для наружной и внутренней трактовой поверхности промежуточной опоры определены по зависимостям, предназначенным для определения коэффициентов теплоотдачи для плоской пластины. При обтекании плоской поверхности для воздуха уравнение для определения критерия Нуссельта имеет вид: $Nu = 0,032 \cdot Re_{ж}^{0,8}$,

$$Nu = 0,032 \cdot (5,2 \cdot 10^5)^{0,8} = 1196,6.$$

Коэффициент теплоотдачи равен:

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda_{ж}}{l};$$

$$\alpha = \frac{1196,6 \cdot 0,0656}{0,26} = 301,9 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

С учётом коэффициента теплоотдачи находим площадь поверхности теплообмена:

$$F = \frac{Q}{\alpha \cdot \Delta t} = \frac{330,9}{0,301 \cdot 317} = 3,46 \text{ м}^2, \text{ где } \Delta t -$$

средний температурный напор.

По результатам расчётов получено, что площадь поверхности теплообмена F должна быть равна $3,46 \text{ м}^2$. При высоте трактового канала $h \approx 0,4 \text{ м}$ протяжённость поверхности теплообмена должна быть $l \approx 8,7 \text{ м}$. Те-

плообменник таких размеров невозможно разместить за рёбрами свободной турбины в трактовой полости двигателя. Таким образом, для решения этой задачи необходимо проработать другие варианты расположения теплообменника, например в выхлопном тракте ГТУ.

Библиографический список

1. Росляков А.Д., Кочеров Е.П., Цыбизов Ю.И. Возможность использования попутных газов в газотурбинных двигателях, созданных в рамках конверсии // Вестник СГАУ. 2014. №3(27). Ч. 2. С. 248-252.

УДК 621.3.082.5 + 531.781

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА УСТРОЙСТВА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ ЛОПАТОК ГАЗОТУРБИНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

©2016 А.И. Данилин, У.В. Бояркина

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

BLOCK DIAGRAM OF THE DEVICE OF DETERMINATION OF PARAMETERS OF TORSIONAL FLUCTUATIONS OF SHOVELS OF GTE

Danilin A.I., Boyarkina U.V. (Samara National Research University, Samara, Russian Federation)

The block diagram of the device of determination of parameters of torsional fluctuations of shovels of GTE based on the analysis of the light stream reflected from in a special way of the created reflecting surfaces at end faces of shovels is offered. On the basis of the conducted pilot researches of the offered measuring converter the information time parameter allowing to determine parameters of torsional fluctuations of all shovels of a wheel is determined.

В процессе опытной стендовой доводки газотурбинных двигателей (ГТД) для обеспечения безаварийного процесса эксплуатации ГТД есть возможность контролировать рабочее состояние лопаток колеса. Известен способ контроля характеристик отдельных лопаток колеса по их техническому состоянию, когда рабочие лопатки остаются в эксплуатации и после выработки назначенного ресурса до выявления в них деформационных изменений [1].

Схема устройства, реализующего оптоэлектронный способ определения параметров крутильных колебаний, представлена в варианте, приведённом на рис. 1.

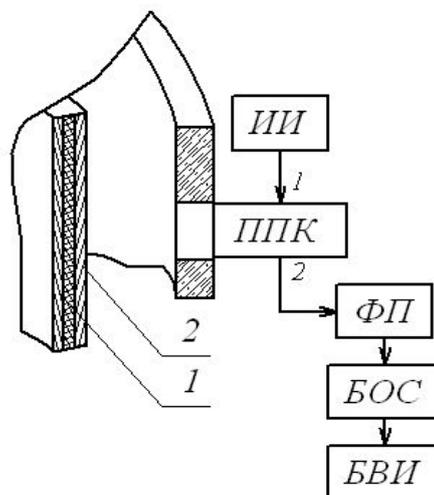


Рис. 1. Структурная схема устройства определения параметров крутильных колебаний лопаток ГТД