

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КОЛЛЕКТОРА МАСЛОСИСТЕМЫ ГТП ПО РАБОЧЕМУ ДАВЛЕНИЮ

М. Ю. Егорушков¹, М. Н. Давыдов²

¹ egorushkovm@rambler.ru, ² mar55@mail.ru

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

Аннотация. Рассматривается метод получения диагностических признаков ухудшения технического состояния масляного коллектора масляной системы газотурбинного привода. В качестве критериев оценки технического состояния газотурбинного привода рассматриваются параметры, характеризующие изменение рабочего давления масла масляного коллектора опор привода, а также изменение подогрева масла в опорах газотурбинного привода.

Ключевые слова: масляная система; максимальное изменение давления; масляный коллектор.

Система маслоснабжения опор газогенератора (ГГ) и силовой турбины (СТ) газотурбинного привода (ГТП) АЛ-31СТ, созданного на базе авиационного газотурбинного двигателя, как правило, имеет объединенную для ГГ и СТ масляную систему. Начало разрушения и само разрушение масляного коллектора какой либо из опор ГТП не имеют диагностических признаков, позволяющих определять нарушение его технического состояния. При этом после раз-

рушения масляного коллектора ГТП может продолжать работу в эксплуатации до появления явных признаков разрушения опоры по параметрам вибрации, частоте вращения роторов или показаниям давления и температуры маслосистемы ГТП в целом. Оценка технического состояния масляного коллектора может быть выполнена по изменению рабочего давления масла. Схема масляной системы ГТП АЛ-31СТ показана на рис. 1 [1].

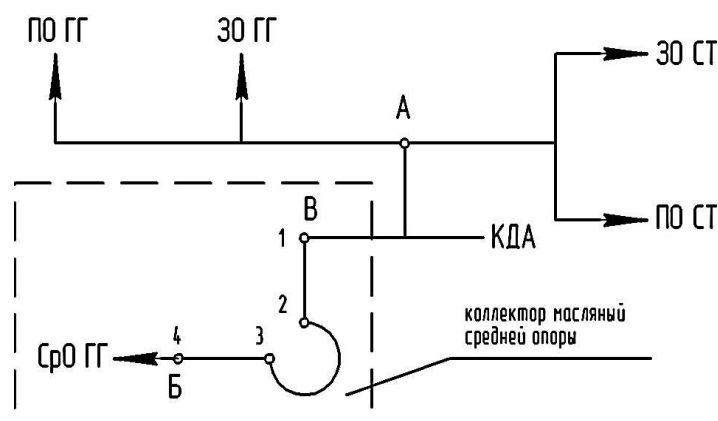


Рис. 1. Схема масляной системы ГТП АЛ-31СТ:

ПОГГ – передняя опора ГГ; КДА – коробка двигательных агрегатов; СрОГГ – средняя опора ГГ;
ЗО ГГ – задняя опора ГГ; ПО СТ – передняя опора СТ; ЗО СТ – задняя опора СТ;
А – точка разделения масла на СрО и ПО СТ

В точке А масло подается к коллекторам средней опоры ГГ и передней опоры СТ, в которых обеспечивается контроль максимального изменения давления средней опоры ГГ. Изменения давления характеризуют ухудшение технического состояния коллектора на участке ВБ.

Для определения давления, характеризующего ухудшение технического состояния масляного коллектора на участке «Б-В», составляется система уравнений вида [2]:

$$1) P_4 + \Delta P_{1-2} + \Delta P_{2-3} + \Delta P_{3-4} = P;$$

$$2) Q_{1-4} = 2 \cdot Q_{\text{отв}} = 2 \cdot \mu \cdot S_{\text{отв}} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (P_4 - P_{\text{мп}})}{\rho}};$$

$$3) \Delta P_{1-2} = \lambda_{1-2} \cdot \frac{l_{1-2}}{d_{1-2}} \cdot \frac{V_{1-2}^2}{2} \cdot \rho;$$

$$4) \Delta P_{2-3} = \frac{\rho \cdot \xi_{2-3} \cdot V_{1-2}^2}{2};$$

$$5) \Delta P_{3-4} = \lambda_{3-4} \cdot \frac{l_{3-4}}{d_{3-4}} \cdot \frac{V_{3-4}^2}{2} \cdot \rho;$$

$$6) V_{1-2} = \frac{Q_{1-4}}{S_{1-2}};$$

$$7) V_{3-4} = \frac{Q_{1-4}}{S_{3-4}};$$

$$8) \lambda_{1-2} = \frac{0,3164}{Re_{1-2}^{0,25}};$$

$$9) \lambda_{3-4} = \frac{0,3164}{Re_{3-4}^{0,25}};$$

$$10) Re_{1-2} = \frac{V_{1-2} \cdot d_{1-2}}{\nu};$$

$$11) Re_{3-4} = \frac{V_{3-4} \cdot d_{3-4}}{\nu},$$

где P_n – начальные и конечные давления в трубопроводе; ΔP – потери давления в трубопроводе; P – максимальное давление; Q – прокачка масла через трубопровод; μ – коэффициент расхода форсунки; ρ – плотность масла; S – площадь сечения трубопровода; d – диаметр трубопровода; l – длина трубопровода; V – скорость течения масла; ξ – коэффициент местных сопротивле-

ний; ν – кинематическая вязкость масла; λ – коэффициент гидравлического сопротивления труб; Re – число Рейнольдса.

Система содержит одиннадцать неизвестных: P_4 , ΔP_{1-2} , ΔP_{2-3} , ΔP_{3-4} , λ_{1-2} , λ_{3-4} , V_{1-2} , V_{3-4} , Re_{1-2} , Re_{3-4} и Q_{1-4} . Решение такой системы уравнений позволяет определить давления, характеризующие ухудшение технического состояния масляного коллектора в процессе эксплуатации ГТП.

Масляная система также ГТП предназначена для смазки подшипников с целью уменьшения трения возникающего между телами качения, сепаратором и кольцами, отвода продуктов износа и съема тепла, выделяемого в результате их работы. Современные ГТП работают при частотах вращения от 10000 до 15 000 об/мин и температуре газов перед турбиной близкой к 1730 °С, что приводит к значительному тепловыделению в масло от подшипников и элементов привода, формирующих масляную полость. Отвод тепла является основной функцией, выполняемой масляной системой [3].

Затрачиваемая работа на преодоление всех сил сопротивления в подшипнике качения превращается в тепло, которое нагревает подшипник и отводится прокачиваемым через него маслом.

Потери мощности на привод подшипников разделяются на две составляющие [4]:

– потери от сил сопротивления, образующихся из-за наличия сил трения между телами качения, беговыми дорожками колец и сепаратором;

– потери от сил гидродинамических сопротивлений, возникающих в результате перемешивания масла телами качения в подшипнике.

Затраты мощности на преодоление указанных сил равны:

$$Q_{\Sigma} = Q_{\text{тр}} + Q_{\text{гидр}},$$

где Q_{Σ} – суммарный тепловой поток, эквивалентный общим затратам мощности на привод подшипника, Вт; $Q_{\text{тр}}$ – тепловой поток, эквивалентный мощности трения в подшипнике, Вт; $Q_{\text{гидр}}$ – тепловой поток, эквивалентный мощности на преодоление сил гидродинамических сопротивлений в подшипнике, Вт.

При рассмотрении тепла, отводимого маслом от подшипников, особенно опоры турбины, следует учитывать дополнительный его отвод от нагретых деталей и узлов привода.

Следовательно, тепловой поток, отводимый маслом, омывающим подшипник и элементы масляной полости ГТП, равен сумме:

$$Q_m = Q_{тр} + Q_{гидр} + Q_{вн},$$

где Q_m – тепловой поток, отводимый от опоры (от подшипника и элементов масляной полости ГТП) прокачиваемым маслом, Вт; $Q_{вн}$ – внешний тепловой поток, подводимый к прокачиваемому маслу через газотурбинный привод, Вт.

Потребная величина прокачки масла через корпус подшипника определяется по формуле:

$$q_m = \frac{3600 \cdot (Q_{\Sigma} + Q_{вн})}{C_p \cdot (t_{м.вх} - t_{м.вх})},$$

где q_m – прокачка масла через корпус подшипника, кг/ч; C_p – удельная теплоемкость масла, Дж/(кг·°С); $t_{м.вх}$, $t_{м.вх}$ – температура масла на входе и выходе из газотурбинного привода соответственно, °С.

При этом температура подшипника на 5–20 % выше замеряемой температуры масла на выходе из него [4].

Количество тепла, поступающего в масло от подшипников Q_{Σ} , зависит:

- от оборотов роторов высокого (РВД, n_2) и оборотов ротора низкого (РНД, n_1) давлений;

- от радиального зазора в подшипнике;

- от условий монтажа и др.

Контроль состояния подшипников и масляной полости осуществляется отслеживанием их температурного состояния, а также с помощью сигнализаторов стружки, магнитных пробок и датчиков вибрации. Применяется также спектральный анализ масла, который требует выполнения постоянных отбор проб масла, при этом не обеспечивается текущий контроль состояния опор в интервале между отборами проб масла.

Кроме указанные выше методов диагностики состояния подшипников и опор в целом, с целью повышения уровня контроле-

пригодности масляной системы ГТП АЛ-31СТ, возможно применение диагностического параметра подогрева масла в опорах привода.

В данном случае изменение величины подогрева в процессе наработки газотурбинного привода будет представлять собой дополнительный диагностический параметр, характеризующий об отклонениях от нормальной работы.

Рассмотрим пример исследования подогрева масла в ГТП АЛ-31СТ за время наработки.

Известно, что опора турбины ГТП является наиболее нагруженной опорой и имеет общую масляную полость для подшипников турбины низкого (ТНД) и высокого давлений (ТВД).

В качестве опор используются:

- подшипник роликовый 4-1002928РУ (для опоры ТНД);

- подшипник роликовый 5-2672119Р1 (для опоры ТВД).

Контроль подогрева масла осуществляется с помощью датчиков температуры П-109, установленных в трубопроводах линии подачи ($t_{м.вх}$) и откачки масла ($t_{м.вх}$).

Было установлено, что в процессе наработки величина подогрева масла в опоре турбины ГТП АЛ-31СТ имеет положительную тенденцию, сопровождаемую скачкообразным изменением величины подогрева масла, обусловленного изменением режима работы привода.

Для исключения влияния режимов работы газотурбинного привода на подогрев масла в опоре турбины Δt_m по статистическим данным была определена зависимость вида [4]:

$$\Delta t_m = -174,23 + 0,00028 \cdot n_1 + 0,01728 \cdot n_2 + 0,07263 \cdot T_4 + 0,00135 \cdot \tau.$$

Подогрев масла в опоре турбины в интервале наработки от 9 120 до 17 340 ч. при постоянном режиме работы газотурбинного привода (n_1 , n_2 , $T_4 = \text{const}$) приводит к росту Δt_m .

Для выяснения причины роста подогрева была проведена дефектация опоры турбины данного привода при поступлении на капитальный ремонт.

В качестве датчиков контроля температуры масла $t_{м.вых}$ и $t_{м.вх}$ используются датчики температуры П-109. С целью исключения возможности искажения замеренных значений температуры масла был выполнен входной контроль, по результатам которого они были признаны исправными.

Контроль за подачей масла в двигатель проводится путем замера давления масла за нагнетающим насосом НШ-38, причем с целью исключения забросов давления за ним установлен перепускной клапан. Давление масла в процессе наработки было практически неизменным и варьировалось в диапазоне от 3,1 до 3,2 кг/см².

В процессе изготовления привода предусмотрено проведение проливок масляного коллектора, с целью определения прокачки масла через форсунки и определения попадания струй масла в заданные полости. По результатам проливок было установлено, что при сборке привода и отправке его в эксплуатацию суммарный расход масла через масляный коллектор был на 1,4 л/мин выше.

Выявленное в результате дефектации привода снижение прокачки масла через масляный коллектор на 1,4 л/мин явилось причиной роста подогрева масла в опоре турбины ГТП АЛ-31СТ. Отклонение от минимально допустимой величины прокачки составило 0,1 л/мин и могло стать причиной заклинивания подшипников.

Таким образом, контроль подогрева масла по наработке позволяет повысить вероятность распознавания фактического состояния элементов (узлов) масляной системы ГТП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **ОАО «НПО «Сатурн». Научно-технический центр им. А. Льюли.** Двигатель АЛ-31СТН. Руководство по эксплуатации 60.РЭ1, ред. 2, 2005. 354 с. [JSC "SPE "Saturn". Scientific and technical centre named after A. Lulka. Engine AL-31STN. Manual 60.РЭ1, edition 2, 2005]

2. **Идельчик И.Е.** Справочник по гидравлическим сопротивлениям. М.: «Машиностроение», 1992. 672 с. [I.E. Idelchik Handbook on hydraulic resistance. M.: «Mashinostroenie», 1992]

3. **Костров В.С., Гишваров А.С., Зырянов А. В., Князев А.А.** Анализ причинно-следственных связей изменения подогрева масла в ГТП АЛ-31СТ // Молодежный Вестник УГАТУ. 2017. №1(16). С 1-6. [V. S. Kostrov, A. S. Gishvarov, A.

V. Zyryanov, A. A. Knyazev, "Analysis of cause and effect relationships of changes in oil heating in GTE AL-31ST", (in Russian) in *Molodezhny Vestnik UGATU*, no. 1 (16), pp.1-6, 2017]

4. **Демидович В.М.** Исследование теплового режима подшипников ГТД. М.: «Машиностроение», 1978, 172 с. [V.M. Demidovich, Research of heat rate of Gas Turbine Engine (GTE) bearings, (in Russian). Moscow, Mechanical engineering "Mashinostroenie", 1978].

ОБ АВТОРАХ

ЕГОРУШКОВ Михаил Юрьевич, аспирант 1-го курса обучения факультета «Авиационные двигатели, энергетика и транспорт».

ДАВЫДОВ Марсель Николаевич, канд. техн. наук, доцент кафедры «Авиационные двигатели». Иссл. в обл. испытаний технических систем.

METADATA

Title: Technical condition assessment of the GTD oil system collector by operating pressure

Authors: M. Y. Egorushkov, M. N. Davydov

Affiliation:

Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

Email: ¹egorushkovm@rambler.ru, ²mar55@mail.ru

Language: Russian.

Source: Molodezhny Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), no. 1 (22), pp. 65-68, 2020. ISSN 2225-9309 (Print).

Abstract: It is considered the method of getting diagnostic signs of oil collector technical deterioration of the GTD oil system. As criteria for assessing the technical condition of a GTD, parameters are considered that characterize the change in the operating pressure of the oil of the oil collector of the drive supports, as well as the change in oil heating in the supports of the GTD.

Key words: oil system; maximum pressure change; oil collector.

About authors:

EGORUSHKOV, Mikhail Yurievich, 1-year Postgraduate Student, Dept. of Aviation engines, energy and transport.

DAVYDOV, Marsel Nikolaevich, Dipl. engineer of aircraft engines (USATU, 2002), Cand. of Tech. Sci. (UGATU, 2006).