



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«ОБЪЕДИНЕННАЯ ДВИГАТЕЛЕСТРОИТЕЛЬНАЯ
КОРПОРАЦИЯ» (АО «ОДК»)

пр-т Буденного, д.16, г. Москва, 105118, ИНН 7731644035, КПП 997450001, ОГРН 1107746081717
тел.: +7 (495) 232-55-02, факс: +7 (495) 232-69-92, www.uecrus.com, e-mail: info@uecrus.com

02.03.2021 г. № ОДК-4908

на № 08-2020-04 от 14.10.2020

Отзыв на автореферат

**ДИССЕРТАЦИОННЫЙ СОВЕТ
Д212.125.08 МОСКОВСКОГО
АВИАЦИОННОГО
ИНСТИТУТА
НАЦИОНАЛЬНОГО
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА**

УЧЕНОМУ СЕКРЕТАРЮ

Ю.В. ЗУЕВУ

**Волоколамское шоссе, д. 4,
г. Москва, А-80, ГСП-3, 125993**

Уважаемый Юрий Владимирович!

Направляем Вам отзыв на автореферат Р.В. Храмина. «Особенности проектирования опоры радиально-упорного шарикового подшипника авиационного газотурбинного двигателя с консистентной системой смазки».

Приложение: отзыв на автореферат Р.В Храмина на 3 л. в 2 экз.

С уважением,

Генеральный конструктор
производственного комплекса «Салют»
АО «ОДК»

Г.П. Скирдов

В.В. Ананьев
+7 (499) 785 86 26

Отдел документационного
обеспечения МАИ

09.03.2021 г.

УТВЕРЖДАЮ:

Генеральный конструктор

ПК «Салют» АО «ОДК»

Г.И. Скирдов

«01» марта 2021 год



ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Храмина Романа Владимировича по теме «Особенности проектирования опоры радиально-упорного шарикового подшипника авиационного газотурбинного двигателя с консистентной системой смазки», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 – Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов.

Диссертационная работа Храмина Романа Владимировича посвящена исследованию температурного состояния радиально-упорного шарикового подшипника с консистентной системой смазки в опоре малоразмерного короткоциклового авиационного газотурбинного двигателя (ГТД) и проектированию необходимой системы воздушного охлаждения.

Целью данной работы явилась разработка эффективного расчетно-экспериментального метода проектирования подобных опор ГТД и для достижения поставленной цели автором последовательно решены следующие задачи:

- получено критериальное уравнение, необходимое для расчетно-экспериментального определения теплового состояния геометрически подобных опор;
- предложен способ измерения осевой силы в составе ГТД методом динамического тензометрирования наружного кольца подшипника;
- разработана конструкция подшипника с доработкой наружного кольца под установку тензорезисторов для динамического тензометрирования, обеспечивающая также постановку тензометрического кольца для измерения величины и характера изменения осевой силы, воспринимаемой шарикоподшипником;
- определены экспериментальные зависимости температуры наружного кольца подшипника с шариками из нитрида кремния и консистентной смазкой на специальной установке при испытаниях с изменением частоты вращения и осевой силы;
- разработана конструкция опоры ГТД с оптимальным расходом охлаждающего воздуха.

Отдел документационного
обеспечения МАИ

«09» 03 2021 г.

По результатам проведенных экспериментальных работ с достаточной для практики точностью подтверждена пропорциональность внутреннего тепловыделения в подшипнике потерям на гидродинамическое трение в зазорах между телами качения и кольцами подшипника, при этом коэффициент пропорциональности, определенный в работе как коэффициент сопротивления, удалось представить в форме произведения степенных функций критериев подобия Re , Eu и Pr , учитывающих специфику движения смазки внутри подшипника. Согласно экспериментальным данным, приведенным в автореферате, получены линейные зависимости коэффициентов сопротивления при изменении частоты вращения ротора и, независимо, при изменении осевой силы вплоть до значения 500 кгс, а также соответствующие экспоненциальные зависимости тепловыделения в подшипнике от изменения тех же параметров.

При испытаниях в составе ГТД также получил подтверждение предложенный в работе способ измерения осевой силы, воспринимаемой шарикоподшипником, посредством динамического тензометрирования наружной обоймы, где между осевой силой, замеренной тензометрическим кольцом, и уровнем динамических напряжений установлена линейная зависимость. Тем самым, впервые на основе расчетно-экспериментальных исследований изучено влияние осевой силы и частоты вращения ротора на тепловыделение подшипника с консистентной смазкой при различных параметрах охлаждающего воздуха с помощью термометрирования и тензометрирования наружного кольца подшипника, что позволяет определить потребный расход охлаждающего воздуха для обеспечения допустимой температуры смазки.

В заключительной части работы выполнены расчеты сопряженного теплообмена опоры компрессора с прилегающими деталями ротора в 3D постановке с использованием программного комплекса ANSYS.

Актуальность, практическая значимость и научная новизна работы не вызывает сомнений. Достоверность полученных диссертантом результатов обеспечена обоснованностью исходных теоретических предпосылок и математических моделей, получивших достаточное расчетно-экспериментальное подтверждение. Основные результаты диссертации опубликованы в 11 печатных работах.

Замечания по автореферату диссертации следующие.

1. В автореферате не приведены данные об уровнях, замеренных в наружной обойме подшипника динамических напряжений при построении зависимости от осевого усилия, достигавшего 1000 кгс.

2. В исследованном на установке диапазоне изменения F_a (рис. 10, 11) коэффициент сопротивления оказывает весьма незначительное влияние: $C = 0,0023 - 0,00276$ при изменении Q от 78Вт до 678Вт, основное влияние оказывает $U_{сеп.}$ и l . Отличие экспериментальных и расчетных точек от экспоненциальных


кривых при $q_{\text{возд.}} = 38 \text{ г/с}$, $F_a = 320 \text{ кгс}$ и 460 кгс составило 36% и 46%, соответственно, что составляет довольно значительную величину. Для $F_a > 270 - 325 \text{ кгс}$ точки для расчетного и экспериментального тепловыделения также существенно отличаются от экспоненциальных кривых. Полученные для двигателя значения $Q_{\text{расч.}} = 688 \text{ Вт}$ при $F_a = 570 \text{ кгс}$ и $Q_{\text{расч.}} = 803 \text{ Вт}$ при $F_a = 920 \text{ кгс}$ при $q_{\text{возд.}} = 61 \text{ г/с}$ и 70 г/с , соответственно, лежат ниже экспоненциальных кривых и свидетельствуют о зависимости величины тепловыделения от расхода воздуха.

3. Автор продемонстрировал возможности методики при сравнении расчетных и экспериментальных данных на стационарных режимах работы. Вместе с тем, на нестационарных режимах картина функционирования систем охлаждения подшипникового узла значительно изменяется ввиду тепловой инерционности, что может повлиять на работоспособность подшипника.


Высказанные замечания не снижают общей положительной оценки всей работы. В целом автореферат дает достаточно полное представление о диссертационной работе, удовлетворяющей требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК Минобрнауки Российской Федерации, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а его автор Храмин Роман Владимирович заслуживает присвоения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 – Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов.

Отзыв рассмотрен и одобрен на заседании НТС 15 февраля 2021 года, протокол заседания №03/62.

Главный специалист по тепломассообмену
ПК «Салют» АО «ОДК»


01.03.2021 г. В.В. Ананьев

Начальник отдела прочности
и тепломассообмена


01.03.2021 г. Е.В. Петров

Заместитель начальника отдела
прочности и тепломассообмена, к.т.н.


01.03.2021 г. Ю.Г. Горелов

105118, г. Москва, проспект Буденного, 16

тел. (495) 232-55-02

факс (495) 232-69-92

e-mail: info@uecrus.com