

УДК 536-539.4

А. Р. ЛЕПЕШКИН, А. Н. СТАДНИКОВ, Е. С. РУДЕНОК

*Центральный институт авиационного моторостроения им. П. И. Баранова, Москва, Россия*

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРОПРОВОДНОСТИ И ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ В МАТЕРИАЛАХ В ПОЛЕ ДЕЙСТВИЯ ВИБРОУСКОРЕНИЙ

*Предложена методика исследования температуропроводности и теплопередачи в материалах в поле действия виброускорений. Разработано устройство для определения указанных характеристик на вибростенде в поле действия виброускорений. Приведены результаты исследований нестационарного нагрева теплопроводника из никелевого сплава при воздействии виброускорений. Теплоизолированный теплопроводник с электронагревателем и термодатчиками установлен на балке прямоугольного сечения. Из анализа результатов экспериментальных исследований и скоростей нагрева следует, что температуропроводность теплопроводника возрастает при увеличении амплитуды колебаний балки на вибростенде. При этом время передачи тепла по теплопроводнику существенно сокращается, т.е. наблюдается ускорение теплопередачи в поле действия виброускорений.*

**Ключевые слова:** методика, нагрев, виброускорение, теплопередача, теплопроводник, температуропроводность, температура.

### Введение

Исследование распространения тепла во вращающихся деталях и температуропроводности металлических материалов в поле действия ускорений и сил имеет важное значение для авиакосмической техники.

Необходимо отметить, что любые виды ускорений: линейные, центробежные и виброускорения влияют на температуропроводность материалов [1-3].

Предложена методика исследования распространения тепла во вращающихся деталях и температуропроводности материалов в поле действия центробежных ускорений и сил.

Развитие авиадвигателей устойчиво идёт по пути повышения температуры газа перед турбиной. Однако, разработка двигателей пятого поколения, как в России, так и за рубежом наталкивается на серьёзные трудности при освоении более высоких температур. Тепловые расчёты ГТД и их элементов выполняются по классическим моделям и во многих случаях плохо согласуются с экспериментом. Максимальные измеренные температуры на реальных объектах значительно превышают расчетные величины, что не обеспечивает необходимую прочность, надёжность и ресурс деталей перспективных авиадвигателей. При оценке температурного состояния деталей ротора турбины используются коэффициенты теплопроводности, которые были получены в стационарных условиях земного тяготения ( $g=1$ ) на

ненагруженных образцах.

В реальных условиях лопатки турбин работают при значительных виброускорениях и изменение температуропроводности материала в этих условиях можно ожидать существенным. Вероятно, неучёт этого обстоятельства приводит к дополнительному различию температурных полей лопаток турбин прогнозируемых расчётом и наблюдаемых в эксперименте. Кроме виброускорений на роторные детали действуют центробежные ускорения и растягивающая центробежная сила. Влияние центробежных ускорений и сил на температуропроводность материалов представлено в [1], но исследования температуропроводности материалов в поле действия виброускорений ранее не проводились.

Влияние сжимающих сил на теплопроводность соединения GaSb ранее исследовалось сотрудниками института физики Даг. НЦ РАН. На этих соединениях при повышении давления до 250...350 МПа теплопроводность повышалась на 15...20% [4]. Исследования влияния растягивающих сил на теплопроводность металлов ранее не проводились.

В [5, 6] приводятся сведения по электронному явлению в металлах, которое опытным путем установили русские ученые-физики Л. И. Мандельштам и Н. Д. Папалекси в 1913 г. В тридцатые и сороковые годы прошлого столетия академики Л. И. Мандельштам и Н. Д. Папалекси работали в ФИАН им. П. Н. Лебедева. Н. Д. Папалекси внес большой вклад в развитие теории колебаний. В их опытах 1913 г.

при вращении катушки на концах провода возникала разность потенциалов, и, подключенный к концам провода, телефон издавал звук. Эти опыты в 1916 г. были усовершенствованы американским ученым Р. Ч. Толменом. Катушка в его опыте приводилась в быстрое вращение и затем резко тормозилась. При этом с помощью баллистического гальванометра регистрировался импульс тока, связанный с инерционным движением свободных электронов (имеющих массу) в тонком медном проводе на катушке. В данных опытах также подтверждается, что ускорения оказывают влияние на электронные явления в металлах, в частности, при торможении. Однако из указанных опытов не было сделано выводов и предположений о возможности появления электронного явления в условиях виброускорений и его влияния на тепловые процессы в коротких проводниках и в деталях. В [7] приводятся результаты исследований влияния ускорений на появление разности потенциалов на участках проволоки (из-за инерционного движения свободных электронов - эффекта Толмена) при ее скоростном волочении.

Данная работа посвящена актуальной проблеме по исследованию передачи тепла в деталях и температуропроводности металлических материалов в поле действия виброускорений.

### Методика и результаты исследований

В данной работе предложена методика определения теплофизических характеристик материалов в поле действия виброускорений. Разработано устройство для определения указанных характеристик на вибростенде (рис. 1). Методика исследований предусматривала закрепление на конце балки теплопроводника (рис. 2) из тонкого хромелевого провода и небольшого электронагревателя, состоящего из нескольких витков провода. На концах теплопроводника и перед электронагревателем приваривались термопары (рис. 3) с помощью которых измерялись температуры:  $T_1$  – температура на конце теплопроводника 3,  $T_2$  – температура в начале теплопроводника 3 (перед нагревателем 4). Теплопроводник 3 и электронагреватель 4 были теплоизолированы от балки 5, установленной на вибростенде. Работы по препарировке балки проведены Л. С. Моисеевой.

В соответствии с разработанной методикой исследования проводились на вибростенде, оснащенном автоматической системой управления и поддержания заданной амплитуды и частоты колебаний. Контроль за температурным состоянием теплопроводника, размещенного на балке (рис. 2) с электронагревателем, производился компьютерной системой, оснащенной крейтом и измерительными пла-

тами. Обработка результатов осуществлялась по разработанной программе. Для питания электронагревателя использовался стабилизированный источник питания. Перед проведением испытаний подавалось стабилизированное питание на нагреватель, и записывались базовые показания термопар в течение работы нагревателя.



Рис. 1. Вибростенд



Рис. 2. Устройство для исследования температуропроводности материалов в поле действия виброускорений

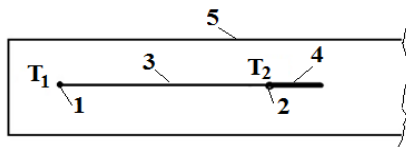


Рис. 3. Расположение теплопроводника на конце балки

Приведены результаты исследований нестационарного нагрева теплопроводника в поле действия виброускорений при разных амплитудах (размахах) колебаний на частоте 120 Гц. После обработки данных экспериментальных исследований получены кривые скоростей нагрева в зависимости от времени нагрева (или времени передачи тепла), представленные на рис. 4.

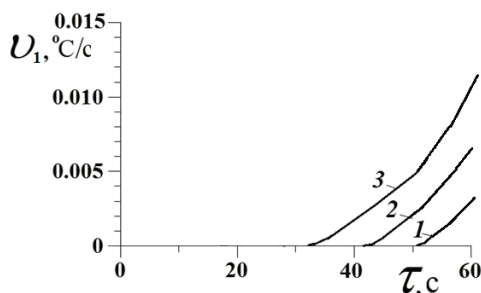


Рис. 4. Кривые скоростей нагрева на конце теплопроводника в зависимости от времени нагрева при воздействии виброускорений:

- 1 – статическое состояние;
- 2 – размах колебаний  $2A=3,5$  мм ( $f = 120$  Гц), 60 г;
- 3 – размах колебаний  $2A=7,0$  мм ( $f = 120$  Гц), 120 г

По полученным результатам представлены оценки температуропроводности и теплопроводности теплопроводника. Из анализа результатов экспериментальных исследований и скоростей нагрева (рис. 4) следует, что температуропроводность хромелевого теплопроводника при виброускорении 120 г возрастает на 25 % по сравнению со статическим состоянием. На рис. 5 показана кривая времени  $\tau$  передачи тепла от начала хромелевого теплопроводника к его концу при разных размахах колебаний  $2A$ : 0; 3,5 и 7 мм. Из анализа данных рис. 5 следует, что время передачи тепла по хромелевому теплопроводнику сокращается в 1,5 раза при 120 г по сравнению со статическим состоянием.

Таким образом, указанный рост температуропроводности связан с увеличением электронной проводимости в металле за счет перемещения теплоносителей (имеющих массу) - свободных электронов при воздействии виброускорений.

Полученные результаты имеют важное практическое значение для оценки теплового состояния деталей авиационных двигателей и других турбомашин, работающих при значительных виброускорениях и других эксплуатационных нагрузках.

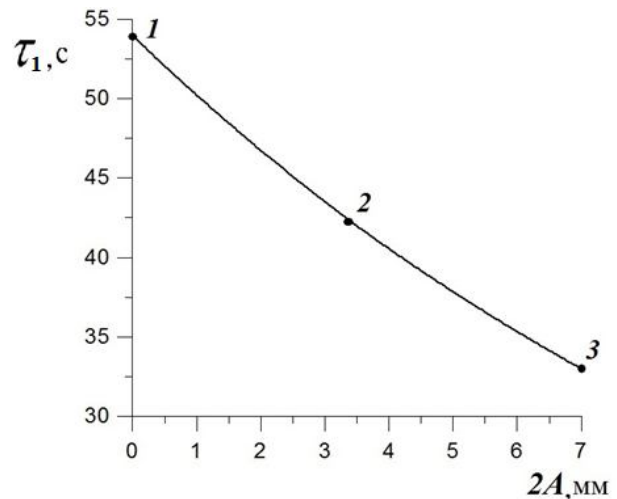


Рис. 5. Кривая времени передачи тепла по теплопроводнику из никелевого сплава в зависимости от размаха колебаний  $2A$  при воздействии виброускорений:

- 1 – статическое состояние;
- 2 – размах колебаний  $2A=3,5$  мм ( $f = 120$  Гц), 60 г;
- 3 – размах колебаний  $2A=7,0$  мм ( $f = 120$  Гц), 120 г

### Заключение

Разработана методика исследования температуропроводности и теплопередачи в материалах в поле действия виброускорений. Разработано устройство для определения указанных характеристик на вибростенде в поле действия виброускорений. Приведены результаты исследований нестационарного нагрева теплопроводника из никелевого сплава при воздействии виброускорений. Из анализа результатов экспериментальных исследований и скоростей нагрева следует, что температуропроводность теплопроводника возрастает при увеличении амплитуды колебаний балки на вибростенде. При этом время передачи тепла по теплопроводнику существенно сокращается, т.е. наблюдается ускорение теплопередачи в поле действия виброускорений.

Из анализа результатов экспериментальных исследований следует, что температуропроводность теплопроводника из никелевого сплава возрастает на 50 % при размахе колебаний 7 мм при виброускорении 120 г по сравнению со стационарным состоянием без вращения, а время передачи тепла сокращается в 1,5 раза.

Указанный рост температуропроводности существенно связан с увеличением электронной проводимости в металле за счет теплоносителей (имеющих массу) - свободных электронов при воздействии виброускорений. Полученные результаты имеют важное практическое значение для оценки теплового состояния деталей авиационных двигателей и других турбомашин, работающих в условиях вибраций.

## Литература

1. Пат. 2235982 Российская Федерация, МПК H02N 11/00. Способ и установка для определения теплофизических характеристик твердых материалов в поле действия центробежных сил [Текст] / А. Р. Лепешкин, Н. Г. Бычков; заявитель и патентообладатель ЦИАМ. – № 2010117026/07; заявл. 30.04.2010; опубл. 20.04.2011, Бюл. № 11.

2. Лепешкин, А. Р. Исследование нового эффекта температуропроводности материалов в поле действия центробежных ускорений и сил на разгонном стенде [Текст] / А. Р. Лепешкин, Н. Г. Бычков // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2011. – № 8 (85). – С. 20-23.

3. Лепешкин, А. Р. Исследование температуропроводности металлов с учетом инерции электронов в поле центробежных ускорений [Текст] / А. Р. Лепешкин // *Актуальные проблемы физики: сб. тр. конф. (11-15 ноября. 2012 г.)*. – М.: ФИАН,

2012. – С. 65-66.

4. Эмиров, С. Н. Влияние давления и температуры на теплопроводность моно- и поликристаллических образцов антимоноида галлия [Текст] / С. Н. Эмиров, Н. М. Булаева, Э. Н. Рамазанова // *XII Российская конференция по теплофизическим свойствам веществ: тез. докл.* – М.: Наука. – 2008. – С. 306.

5. Гинзбург, В. Л. Памяти А. А. Андропова [Текст] / В. Л. Гинзбург. – М.: Изд-во АН СССР, 1955. – 622 с.

6. Карякин, Н. И. Краткий справочник по физике [Текст] / Н. И. Карякин, К. Н. Быстров, П. С. Киреев. – М.: Высш. шк., 1969. – С. 198-199.

7. Троицкий, О. А. Эффект Стюарта-Толмена при скоростном волочении проволоки и при столкновении пули с мишенью [Текст] / О. А. Троицкий, В. И. Стащенко // *Изв. Академии Электротехнических наук*. – 2011. – № 1. – С. 37-43.

*Поступила в редакцию 14.05.2014, рассмотрена на редколлегии 12.06.2014*

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф., начальник отдела А. Н. Петухов, ФГУП “ЦИАМ им. П. И. Баранова”, Москва, Россия.

### МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРОПРОВІДНОСТІ ТА ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ В МАТЕРІАЛАХ У ПОЛІ ДІЇ ВІБРОПРИСКОРЕНЬ

*О. Р. Лепешкін, О. М. Стадніков, Є. С. Руденюк*

Запропоновано методику дослідження температуропровідності і теплопередачі в матеріалах у полі дії віброприскорень. Розроблено пристрій для визначення зазначених характеристик на вібростенді. Наведено результати досліджень нестационарного нагріву теплопровідника з нікелевого сплаву при дії віброприскорень. Теплоізолюваний теплопровідник із електронагрівачем та термопарами встановлено на балці прямокутного перерізу. Із аналізу результатів експериментальних досліджень і видкостей нагріву слідує, що температуропровідність теплопровідника підвищується під час підвищення амплітуди коливань балки на вібростенді. При цьому час передачі тепла по теплопровіднику суттєво скорочується, тобто спостерігається прискорення теплопередачі в полі дії віброприскорень.

**Ключові слова:** методика, віброприскорення, теплопередача, теплопровідник, температуропровідність, температура.

### METHOD FOR INVESTIGATION OF THERMAL CONDUCTIVITY AND HEAT TRANSFER IN THE MATERIALS IN THE FIELD OF VIBRATION ACCELERATIONS

*A. R. Lepeshkin, A. N. Stadnikov, E. S. Rudenok*

A method for the study of thermal conductivity and heat transfer in materials in the field of vibration accelerations. A device for the determination of these characteristics on a vibration rig in the field of action of vibration accelerations. The results of investigations of nonstationary heating of the heat conductor from nickel alloy under influence vibration accelerations. The insulated heat conductor, electroheater and thermocouples mounted on the rectangular beam. From the analysis of experimental results and heating rates it follows that the thermal conductivity of the heat conductor increases with increasing of the amplitude of oscillations of a beam on a vibration rig. Wherein the time of a heat transfer on the conductor is significantly reduced and the acceleration of heat transfer is observed in the field of vibration accelerations.

**Keywords:** method, vibration acceleration, heat transfer, heat conductor, thermal conductivity, temperature.

**Лепешкин Александр Роальдович** – д-р техн. наук, проф., начальник сектора, ФГУП “ЦИАМ им. П. И. Баранова”, Москва, Россия, e-mail: lepehkin@rtc.ciam.ru.

**Стадников Александр Николаевич** – ведущий конструктор, ФГУП “ЦИАМ им. П. И. Баранова”, Москва, Россия, e-mail: lepehkin@rtc.ciam.ru.

**Руденюк Евгений Сергеевич** – инженер, ФГУП “ЦИАМ им. П. И. Баранова”, Москва, Россия, e-mail: lepehkin@rtc.ciam.ru.