



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКИЙ ЦЕНТР «ПРОГРЕСС»

(АО «РКЦ «ПРОГРЕСС»)



ул. Земеца, д.18, г. Самара, 443009, тел. (846) 955-13-61, факс (846) 992-65-18, E-mail: mail@samspace.ru
ОКПО 43892776, ИНН 6312139922, КПП 631201001

УТВЕРЖДАЮ

Первый заместитель

генерального директора –

генеральный конструктор

АО «РКЦ «Прогресс», д.т.н.



Ахметов Равиль

Нургалиевич*

2024 г.

ОТЗЫВ НА АВТОРЕФЕРАТ

диссертации Шиманова Артема Андреевича

«Метод проектного расчёта пульсационного турбопривода для бортовой энергетической установки»,

представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.15. – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов»

Актуальность темы исследования

Тема диссертационной работы А.А. Шиманова несомненно является актуальной, поскольку она посвящена развитию современных знаний и представлений о физических процессах, протекающих в безрасходных турбинах. Отличительной особенностью этих турбин от существующих является то, что в них осуществляется знакопеременное движение газа с малой амплитудой перемещения, при этом обеспечивается однонаправленное вращение рабочего колеса. Такие турбины могут найти практическое применение при создании энергетических установок перспективных космических аппаратов, предполагающих использование тепловых машин принципиально нового типа - термоакустических двигателей.

Научная новизна работы заключается в том, что:

1) разработан метод проектного расчёта пульсационного турбопривода для бортовой энергетической установки, включающий методики расчёта резонатора и микро-турбины, а также методику оценки эффективности работы пульсационного турбопри-

Входящий № 204-8878
Дата 25 НОЯ 2024
Самарский университет

вода (ПТ) и отличающийся учётом взаимовлияния рабочих процессов в резонаторе и микротурбине;

2) впервые теоретически предопределены и экспериментально подтверждены диапазоны работы ПТ по частоте волны 50-150 Гц, амплитуде давления 500-7000 Па и месту расположения МТ в волноводе;

3) впервые получены экспериментальные данные параметров ПТ: частоты вращения вала и вырабатываемые электрические мощности, как для режима холостого хода, так и с электрической нагрузкой, в условиях стоячей волны в закрытом резонаторе;

4) разработана методика оценки эффективности работы ПТ в зависимости от амплитудно-частотных характеристик акустической волны. Методика отличается учётом величины мощности источника осцилляций, амплитуды давления, разности фаз между давлением и скоростью в осциллирующем движении газа, потерь акустической мощности в акустическом тракте на трение и конструктивных параметров микротурбины.

Теоретическая значимость работы заключается в разработке метода проекционного расчета пульсационного турбопривода как микротурбины, работающей совместно с резонатором в условиях осциллирующего газового потока.

Практическая значимость работы заключается в том, что полученные результаты позволяют на основе полученных рекомендаций проектировать и изготавливать безрасходные пульсационные турбоприводы, обеспечивающие утилизацию акустической энергии, в частности, выполнять функцию механического преобразователя энергии акустической волны в термоакустических энергетических установках.

Достоверность полученных результатов обеспечивается применением общепринятых методов аналитических исследований, теории акустики, законов газовой динамики, применением сертифицированных программных комплексов, использованием в экспериментах поверенных средств измерения с необходимыми тарировками, приемлемым уровнем соответствия прогнозируемых характеристик экспериментальным данным.

По содержанию автореферата имеется ряд замечаний.

1) Из представленной в автореферате информации не видно, что достигнута заявленная в диссертационной работе цель: повышение эффективности бортовых энергетических установок на базе термоакустического двигателя за счёт использования пульсационного двунаправленного турбопривода. Так многие существующие сегодня термоакустические генераторы на базе электродинамического преобразователя имеют

полный КПД, превосходящий 30 %, о чём свидетельствуют многочисленные отчёты и публикации. Наиболее известным из них является генератор фирмы Northrop Grumman (рисунок 16) с полным КПД до 37 %, использовавшийся на борту космического шаттла. КПД линейных генераторов, спроектированных под определенные термоакустические установки, достигает 75 % и более. Данные показатели превышают значения, достигнутые в диссертационной работе.

2) Сведения о том, что КПД ПТ может достигать 85 %, то есть достигать эффективности турбины, работающей на постоянном потоке, представляются сомнительными. За каждый полупериод волны поток одну часть времени раскручивает турбину, когда локальная скорость на участке лопатки превышает среднюю скорость турбины, а другую часть времени тормозит турбину, когда локальная скорость ниже скорости участка лопатки. При этом, кроме прямых энергетических потерь, происходит турбулизация потока и разрушение структуры волны. Поэтому данные о теоретическом КПД в 20-30 % представляются более реальными. Кроме того, вращающаяся двунаправленная турбина не способна возбудить исходную акустическую волну (подобно линейному генератору, работающему в режиме компрессора), что указывает на необратимость процесса энергопреобразования и предстоящие проблемы с добротностью колебательного контура в целом. То есть такие термоакустические установки будут иметь большие проблемы с запуском.

3) Метод проектного расчёта пульсационного турбопривода для бортовой энергетической установки, включающий методики расчёта резонатора и микротурбины, очень сложно воспринимается. Не понятен алгоритм расчета параметров резонатора и микротурбины с использованием формул (1 – 15), приведенных в автореферате.

4) На странице 9 автор пишет: «...важным параметром является смещение, определение которого довольно затруднительно...». Но смещение в гармонической волне определяется как скорость, делённая на циклическую частоту. Эта скорость перед этим фигурировала в формулах (8, 10, 14) для определения других неизвестных параметров. Не совсем ясно, в чём затруднение, что имелось в виду?

5) На странице 14 упоминается, что «... амплитуды давления ... определялись путём выполнения быстрого преобразования Фурье...». Непонятно, для чего выполнять преобразования Фурье для чистой синусоидальной волны? Или волна содержала вторичные гармоники, вызванные вращением турбины? Если это так, необходимо выполнить оценки энергетических потерь, вызванные вторичными волнами. Они могут существенно превосходить потери акустической мощности в волноводе на трение из-за вязкости (формула 21). В этом случае уравнение (27) тоже сомнительно.

6) Непонятно, как автор использует формулу (23) в методе двух микрофонов. Данная формула описывает профиль скорости волны в радиальном (поперечном) направлении $v(r)$. Как следует далее, автор использует формулу для объемной скорости, которая в методе двух микрофонов определяется как $U \approx \frac{iA}{\omega \rho_m} \frac{P_2 - P_1}{\Delta x}$.

7) В автореферате не указано, почему в качестве рабочего тела в экспериментальной установке использовался воздух при нормальных условиях. Широко известно, что в качестве рабочего тела в энергетических установках на основе термоакустических двигателей используются инертные газы, как правило это гелий при абсолютном давлении заправки до 3,5 МПа.

8) Необходимо указать границы применимости данного метода, а именно: диапазоны давлений заправки, рабочих частот, скоростей, применимость различных рабочих газов, возможности масштабирования.

Указанные замечания не носят принципиальный характер. Диссертационная работа «Метод проектного расчёта пульсационного турбопривода для бортовой энергетической установки», представленная на соискание учёной степени кандидата технических наук 2.5.15 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов» по актуальности, научной новизне, степени достоверности и практической значимости результатов соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени, а её автор, Шиманов Артем Андреевич заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук.

Начальник проектно-конструкторского
отдела перспективных разработок
и специальных систем КС и КА
АО «РКЦ «Прогресс»



Харитонов
Александр
Александрович**

Ведущий инженер-конструктор
проектно-конструкторского отдела
перспективных разработок
и специальных систем КС и КА
АО «РКЦ «Прогресс»,
кандидат технических наук, специальность
05.07.05 – Тепловые, электроракетные двигатели
и энергоустановки летательных аппаратов



Воротников
Геннадий
Викторович***

* ул. Земеца, д.18, г. Самара, 443009; тел. : 8(846) 992-64-89; e-mail: mail@samspace.ru

** ул. Земеца, д.18, г. Самара, 443009; тел. : 8 (846) 228-50-01; e-mail: haritonov.aa@samspace.ru

*** ул. Земеца, д.18, г. Самара, 443009; тел. : 8 (846) 228-50-98; e-mail: vorotnikov.g.v@mail.ru