

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертационную работу Шиманова Артёма Андреевича
«МЕТОД ПРОЕКТНОГО РАСЧЁТА ПУЛЬСАЦИОННОГО
ТУРБОПРИВОДА ДЛЯ БОРТОВОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ»,
представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук
по специальности 2.5.15 - Тепловые, электроракетные двигатели и
энергоустановки летательных аппаратов

Общая характеристика работы

Целью диссертационной работа Шиманова А.А. является повышение эффективности бортовых энергетических установок на базе термоакустического двигателя за счёт использования пульсационного двунравленного турбопривода. Для решения поставленной цели были решены задачи исследования акустического волновода (резонатора) с целью выявления места установки микротурбины (МТ); выявлены газодинамические особенности осциллирующего потока и их влияния на работу МТ; разработана и создана экспериментальная установка для исследования пульсационного турбопривода (ПТ); проведены экспериментальные исследования ПТ и определена эффективность преобразования энергии осциллирующего газового потока в электрическую; разработаны рекомендации по методам расчёта и проектированию ПТ с учётом полученных в исследовании результатов.

Актуальность темы исследования

Разработка и усовершенствование бортовых энергетических систем и комплексов летательных аппаратов является весьма актуальной задачей развития космической техники. Современные тенденции развития космических летательных аппаратов требуют применения надежных и автономных бортовых энергетических установок.

В последнее время большой интерес представляют термоакустические двигатели (ТАД). В них подводимая к рабочему телу (газу) теплота преобразуется в энергию акустической волны, после чего акустическая энергия на линейном генераторе (альтернаторе) с поршнем преобразуется в механическую работу и электроэнергию.

В отличие от термомеханических преобразователей, которые могут быть использованы в составе бортовой энергоустановки, термоакустический двигатель, несмотря на несколько меньшую эффективность, имеет явные преимущества, заключающиеся в конструктивной простоте и надёжности.

В диссертационной работе представлены исследования пульсационного турбопривода, состоящего из акустического волновода (резонатора) и микротурбины. Предлагаемый турбогенератор будет иметь заведомо значительно больший ресурс, чем стандартные поршневые системы, он технологичнее, при этом реактивный момент может быть компенсирован таким же ПТ с противоположным вращением, а рабочая частота может быть увеличена в два-три раза.

Структура диссертации

Диссертационная работа имеет четкую структуру, состоит из введения, четырех глав, выводов, списка литературы, включающего в себя 85 наименований. Общий объем работы 129 страниц, в том числе 95 рисунков, 5 таблиц и 3 приложения.

В первой главе представлены основные сведения о термоакустическом двигателе (ТАД), как варианте двигателя Стирлинга. Приводятся схемы ТАД на бегущей и стоячей волне, их характеристики. Отдельный раздел главы посвящён обзору способов и устройств утилизации акустической энергии. В главе также представлен обзор существующих зарубежных разработок ПТ. Эффективность преобразования акустической энергии в ПТ при давлении 0,1 МПа по расчётным и экспериментальным данным из различных источников оценивается примерно в 20 %.

Во второй главе проведено расчётно-теоретическое исследование процессов в ПТ. В качестве объекта исследования был выбран ПТ с осевой активной микротурбиной, работающей в условиях стоячей волны. Физико-математическая модель процессов в ПТ дополнена учётом влияния акустических явлений.

В третьей главе проведена верификация методики расчёта на основе экспериментальных данных. В работе представлены результаты исследования давления в волноводе для режимов, на которых были достигнуты максимальные обороты микротурбины ПТ для разных мест её размещения от источника акустической мощности.

В четвертой главе представлена методика оценки эффективности ПТ на базе полученных экспериментальных данных. Полученные характеристики позволяют сформировать представление о процессах в пульсационном турбоприводе. На основании приведённых экспериментальных работ сделан вывод, что максимальная мощность и максимальный КПД ПТ достигается при “полуволновом резонаторе”, а наибольшая эффективность всей системы с учётом затрат энергии на источник осцилляций при резонаторе равным длине волны.

Новизна проведенных исследований

Представленные в диссертации результаты, которые обладают научной новизной следующие:

1. Метод проектного расчёта пульсационного турбопривода для термоакустического двигателя для диапазона частот волны 50 – 150 Гц и амплитуды давления 500 – 7000 Па, учитывающий оптимальную длину резонатора и место установки микротурбины.

2. Доказательство работоспособности пульсационного турбопривода в осциллирующем потоке газа. При этом за счёт оптимальной длины резонатора и места установки микротурбины было обеспечено увеличение КПД на 15% (относительных) по сравнению с аналогичными ПТ, представленными в открытых источниках.

3. Разработана методика оценки эффективности работы ПТ в зависимости от амплитудно-частотных характеристик акустической волны. Установленные теоретические и экспериментальные закономерности, позволяют определять влияние характеристик акустической волны на режим работы ПТ при рабочих давлениях 1 - 4 МПа для воздуха и гелия (КПД ПТ 40 - 85% при уровне проектных мощностей 30 - 100 Вт) с точностью до 8%.

Дальнейшие исследования целесообразно проводить в направлении усовершенствования ПТ за счёт оптимальных конструктивных параметров и профилей лопаток направляющих аппаратов и рабочего колеса.

Обоснованность и достоверность основных результатов

Обоснованность научных положений, выводов и заключений, сформулированных в диссертационной работе, подтверждается логичностью и последовательностью решения поставленных задач, корректным применением методов математического моделирования и физического эксперимента, основных положений и методов теории акустики и газодинамики.

Достоверность полученных результатов обеспечивается сходимостью результатов расчёта с экспериментальными данными, применением аттестованных измерительных средств, применением сертифицированного программного обеспечения и экспериментального оборудования.

Теоретическая и практическая значимость работы

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

Практическая значимость работы заключается в сформулированных рекомендациях по проектированию безрасходных пульсационных турбоприводов, обеспечивающих преобразование акустической энергии в электрическую.

Апробация работы и публикации

По материалам диссертации опубликовано 11 работ, из них 2 статьи в рецензируемых периодических изданиях, включенных в список ВАК РФ, 3 статьи в изданиях, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus, 2 патента на изобретение. Результаты диссертационного исследования прошли апробацию на международных и российских научных конференциях.

Автореферат полностью соответствует диссертационной работе, в полном объеме отражает идеи, результаты и выводы диссертации.

Замечания по диссертации

1. Замечания по оформлению диссертации:

- Отсутствует перечень используемых в диссертации обозначений, сокращений, символов и индексов, что затрудняет чтение диссертации, так как по тексту не все используемые обозначения сопровождаются расшифровкой и пояснениями;
- Встречаются формулировки с которыми невозможно согласиться при чтении научной работы. Например, на стр. 85 "... в процессе своей работы турбина поглощает часть амплитуды давления ...";
- Некоторые рисунки, например 3.20 или 3.21 перегружены информацией и, поэтому, тяжело воспринимаются;

2. Замечания по содержанию диссертации:

- В списке используемой научных публикаций ссылки на теорию звука от 1944 г. [4] и на патенты от 1947 и 1953 г. [6,7] представляются неактуальными;
- Из 85 ссылок на публикации нет ни одной ссылки на исследования отечественных учёных. В то же время заявляется (на страницах 4 и 6) о существовании отечественных научных школ по микротурбинам с перечислением учёных, внёсших большой вклад в теорию малоразмерных турбин;
- Не понятно, каким образом результаты диссертационной работы внедрены на АО "Металлист - Самара", о чём сообщается на стр. 10 и почему нет внедрения в учебный процесс университета в котором выполнена работа;
- Не сформулированы технологические ограничения, не смотря на то, что они заложены в итерационную структуру алгоритма проектного расчёта пульсационного турбопривода (раздел 2.2);
- Пренебрежение потерями (формула (2.28) на стр. 48) в сопловом аппарате при невысокой скорости ($M < 0,3$) является чрезмерно сильным упрощением.

Заложить эти потери в расчёт можно по данным, полученными и опубликованными другими исследователями;

- . Откуда взять массовый расход газа для формулы (2.30), если в резонаторе устанавливается стоячая волна?

- . При угле выхода потока из соплового аппарата в 12 градусов следовало бы рассмотреть возможность парциального подвода газа к рабочему колесу;

- . Одномерный расчёт микротурбины является чрезмерно упрощённым для процесса проектирования лопаток соплового аппарата и рабочего колеса. Современные программные продукты позволяют выполнить трёхмерный расчёт в нестационарной постановке;

- . Стоячая волна устанавливается в цилиндрическом канале, а микротурбина работает в кольцевом канале. Нет ответа на вопрос: изменяется ли амплитуда и частота стоячей волны при переходе от цилиндрического канала к кольцевому?;

- Зависимости оборотов ротора и перепада давления на турбине от частоты акустического воздействия динамика на рабочее тело описаны с феноменологических позиций без объяснения особенностей протекания физических процессов в турбине и резонаторе (см. раздел 3.4.1 и 3.4.2);

- Отсутствует оценка погрешности измеряемых параметров и сравнение (хотя бы косвенное) с результатами измерений, полученными другими исследователями;

3. Замечание по выводам:

- Из выводов по главе 3 (стр. 103) не понятно, что в большей степени влияет на величину максимальных оборотов ротора турбины: её положение в резонаторе, или присоединение к ней нагрузки в виде электрогенератора;

- Данные, необходимые для того, чтобы сделать вывод №5 (стр.114) относительно использования в качестве рабочего тела гелия, в тексте диссертации не обнаружены.

Замечания в целом не оказывают существенного влияния на общее положительное впечатление от диссертационной работы и могут быть учтены при дальнейших работах по этой тематике.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным в Положении о присуждении ученых степеней.

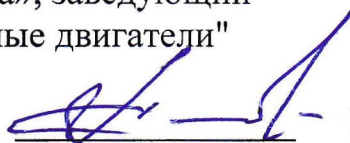
Считаю, что диссертация Шиманова Артёма Андреевича «Метод проектного расчёта пульсационного турбопривода для бортовой энергетической установки» на соискание ученой степени кандидата технических наук является законченной научно-квалификационной работой. Автором получены результаты, обладающие признаками научной новизны. Опубликовано требуемое количество работ в авторитетных изданиях в которых раскрыты все основные положения и результаты диссертационной работы. Текст автореферата полностью соответствует тексту диссертации.

Диссертация Шиманова Артёма Андреевича «Метод проектного расчёта пульсационного турбопривода для бортовой энергетической установки» соответствует всем требованиям положения «О порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Шиманов Артём Андреевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.15 – Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов.

Официальный оппонент:

Доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Рыбинский государственный
авиационный технический университет
имени П.А. Соловьева», заведующий
кафедрой "Авиационные двигатели"

«19» ноября 2024 г.



Ремизов Александр Евгеньевич

Почтовый адрес: 152934 г. Рыбинск, Ярославская обл., ул. Пушкина, 53
Телефон: 910-819-88-12
E-Mail: ad@rsatu.ru

Подпись Ремизова Александра Евгеньевича заверяю:

Проректор по науке и
цифровой трансформации
РГАТУ имени П.А. Соловьёва



М.П.

А.Н. Сутягин