

## Отзыв

официального оппонента к.т.н., ведущего научного сотрудника государственного научного центра, федерального автономного учреждения «Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова»  
Разносчикова Владимира Валентиновича  
на диссертационную работу Тремкиной Ольги Витальевны  
«Совершенствование метода определения характеристик низкотемпературных энергоустановок летательных аппаратов»,  
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.15. Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов

Диссертация Тремкиной Ольги Витальевны посвящена повышению точности проектировочных расчётов низкотемпературных энергоустановок (НЭУ) летательных аппаратов (ЛА) за счёт совершенствования метода определения характеристик НЭУ, использующих низкопотенциальное тепло криопродукта, основанного на обобщении, систематизации, структурном анализе, валидации и верификации данных. Для достижения поставленной цели был усовершенствован метод определения характеристик НЭУ ЛА путём совершенствования математических моделей с учётом их состава, структуры и параметрических характеристик, расширения диапазона применения, уточнения методики определения характеристик цикла и методики комплексного проектирования НЭУ ЛА, численного моделирования процессов и верификации результатов по параметрам и характеристикам НЭУ ЛА.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, списка литературы, включающего в себя 86 наименований. Работа содержит 178 страниц машинописного текста, 114 рисунков, 16 таблиц и 2 приложения. Изложение диссертационной работы подчинено решению поставленных задач.

**Актуальность темы.** Актуальность исследования обусловлена развитием технологий использования криогенных рабочих тел, в частности, в авиационной и космической технике. Перспективные направления развития космической техники предусматривают широкое использование низких температур для улучшения характеристик и расширения функциональных возможностей систем, агрегатов и приборов космических аппаратов (КА) оптико-электронных устройств, бортовых сверхпроводящих систем, систем криостатирования компонентов топлива, а также для обеспечения длительного хранения продуктов и биоматериалов, кондиционирования воздуха в жилых отсеках КА и т.д. Большинство из указанных задач могут быть решены лишь при использовании активных низкотемпературных систем, для работы которых необходим подвод электроэнергии и сброс тепла в окружающее пространство. При жестких ограничениях по массе и энергопотреблению систем КА актуальной становится задача построения

Входящий № 206-837  
Дата 02 НОЯ 2023  
Самарский университет

высокоэффективных НЭУ. Таким образом, актуальность данной работы определяется острой необходимостью повышения точности проектировочных расчётов НЭУ ЛА, использующих низкопотенциальное тепло криопродукта.

**Научная новизна** диссертационной работы не вызывает сомнений и заключается в том, что впервые получены следующие результаты.

1. Усовершенствована математическая модель НЭУ ЛА путём уточнения показателя степени  $m$ , являющегося многопараметрической функцией, в классической формуле оценки эффективности Карзона-Новикова вида  $\eta = 1 - (T_{\min} / T_{\max})^m$ . Использование этой формулы позволяет уточнить КПД цикла, предопределить с наибольшей точностью характеристики НЭУ ЛА и учесть рабочие характеристики, геометрические и конструктивные параметры теплообменных аппаратов.

2. Впервые установлены закономерности влияния совокупности параметров (температурных напоров, свойств рабочего тела, уровней температур источников тепла, рабочих характеристик цикла, коэффициентов теплопередачи, площади поверхности теплообмена, расхода, теплоёмкости рабочего вещества, геометрических и конструктивных параметров теплообменных аппаратов) на эффективность работы НЭУ ЛА. Эти результаты являются основой для повышения точности проектировочных расчётов НЭУ ЛА.

3. Расширен диапазон применения методики определения характеристик цикла НЭУ при расходе рабочего тела от 0 до 5 кг/с. Повышена точность проектировочных расчётов НЭУ ЛА путём уточнения методики и введения в рассмотрение совокупности параметров: температурных напоров, свойств рабочего тела, уровней температур источников тепла, потребных поверхностей теплообмена, рабочих характеристик цикла, коэффициентов теплопередачи, площади поверхности теплообмена, расхода, теплоёмкости рабочего вещества, геометрических и конструктивных параметров теплообменных аппаратов.

Уточнена общая методика комплексного проектирования НЭУ ЛА. Предлагаемая методика отличается тем, что включает все этапы проектирования: от выбора криопродукта, оценки его энергетического потенциала до определения параметрических характеристик и проведения многопараметрического выбора НЭУ ЛА.

**Теоретическая и практическая ценность** полученных Тремкиной О.В. результатов исследований заключается в следующем:

Теоретическая значимость работы заключается в развитии теории и метода определения характеристик НЭУ ЛА. В частности, в усовершенствовании методики определения характеристик циклов НЭУ ЛА и методики их комплексного проектирования.

Практическая значимость заключается в разработке алгоритмов численного моделирования процессов, позволяющих обоснованно определять, с точки зрения

эффективности работы, схемы и параметры рабочего процесса НЭУ ЛА. На основе проведенных исследований определены закономерности выбора НЭУ ЛА, что является основой создания баз данных по их параметрам и схемам.

**Обоснованность и достоверность полученных результатов диссертации.** Анализ структуры диссертации, точности математических формулировок и логической последовательности изложения материала показал достаточно высокую степень обоснованности полученных в работе положений и выводов. Решение поставленных в диссертационной работе задач осуществлялось с применением методов математического анализа, численных методов решения задач, методов математического моделирования и физического эксперимента.

Достоверность и обоснованность результатов работы обусловлена тем, что важными аспектами методологии исследования являлись основные положения и методы термодинамики и теории теплообмена, а в качестве вычислительного инструментария использовались программные продукты Scilab и Mathcad, а также язык программирования Python. Результаты численного моделирования совпадают с экспериментальными данными.

Диссертация в достаточной мере иллюстрирована фотографиями, графиками расчетных и экспериментальных данных, диаграммами со статистическими результатами исследований, что убедительно подтверждает также доказательную базу достоверности и новизны исследований.

**Апробация работы.** Основные положения оппонируемой работы в достаточной мере отражены в 22 публикациях в том числе, в 9 научных журналах из перечня ВАК РФ, в 7 статьях в изданиях, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus, в 2 свидетельствах о государственной регистрации программы для ЭВМ. Результаты исследований докладывались и обсуждались на семинарах и конференциях различного уровня, включая международные. Поэтому считаю, что диссертационная работа Тремкиной О.В. в достаточной мере апробирована.

**Диссертация и автореферат** написаны технически грамотным языком. Содержание диссертации достаточно полно, подробно и ясно раскрывает постановку, методы и результаты решения поставленных и рассмотренных задач. Автореферат полностью отражает содержание диссертации. Оформление диссертации и автореферата соответствует существующим требованиям.

#### **Замечания по содержанию и оформлению работы.**

1. В материалах диссертации нет описания методики определения входящей и выходящей эксергии НЭУ для расчета эксергетического КПД и ссылок на литературу по эксергии.

2. Отсутствуют оценки эффективности НЭУ по экономическим и экологическим показателям.

3. В диссертации присутствуют несущественные опечатки. К примеру, на стр.54 в таблице 3.3 у газовых турбин двигателя степень понижения давления представлена степенью повышения давления.

Отмеченные замечания не носят принципиального характера и ни в коей мере не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы Тремкиной О.В.

**Заключение по диссертации.** Оценивая работу в целом, считаю, что диссертация является законченным научно-исследовательским трудом, выполненным соискателем самостоятельно и на достаточно высоком научном уровне. Диссертантом решена важная научно-техническая проблема по совершенствованию метода определения характеристик низкотемпературных энергоустановок летательных аппаратов.

Исходя из вышеизложенного могу с уверенностью сказать, что оппонируемая диссертационная работа является завершенным научным исследованием, соответствует специальности 2.5.15. Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов, имеет важное научное и практическое значение и отвечает всем требованиям, предъявляемым ВАК к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор Тремкина Ольга Витальевна заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по указанной специальности.

Официальный оппонент,

Кандидат технических наук, доцент

Ведущий научный сотрудник отдела двигателей и химмотологии

ФАУ ЦИАМ им. П. И. Баранова

В. В. Разносчиков

26.10.2023

111116, г. Москва, ул. Авиамоторная, д.2

Тел. +7(495) 362-90-82

e-mail raznoschikov@ciam.ru

Подпись Разносчикова В.В. заверяю:

Начальник управления по работе с персоналом



Евсюкова Т.А.