

## ОТЗЫВ

официального оппонента Слюсарева Михаила Ивановича на диссертационную работу Базыкина Дениса Александровича на тему «Интенсификация теплопередачи для повышения эффективности термоэлектрических генераторных модулей», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.6. Теоретическая и прикладная теплотехника.

### Актуальность темы диссертации

В настоящее время на большей части территории России отсутствует централизованное электроснабжение, в том числе на объектах добычи, подготовки, транспортировки и переработки газовых сред, поэтому применение систем автономного энергообеспечения во многом определяет энергетический уровень развития нефтегазовой отрасли РФ. Среди источников автономного электроснабжения существует значительная потребность в установках небольшой мощности для непрерывного обеспечения работоспособности контрольно-измерительных приборов, автоматики, устройств мониторинга и контроля безопасности, средств катодной защиты трубопроводов, современных цифровых технических средств, повышающих производительность оборудования и находящихся в труднодоступных районах. В связи с этим перспективно использование термоэлектрических генераторных установок, базирующихся на эффекте Зеебека.

Данные установки обладают рядом преимуществ, заключающихся в простоте устройства, возможности применения в регионах с суровыми климатическими условиями, отсутствии необходимости в периодическом техническом обслуживании, возможности утилизации низкопотенциальной тепловой энергии.

При этом сочетание эффекта Зеебека с вихревым эффектом Ранка-Хилша, реализующимся в противоточной вихревой трубе, позволяет осуществлять выработку полезной электрической мощности без сжигания топлива, что благоприятно сказывается на экологии местности применения таких установок.

Повышение мощности термоэлектрических генераторов связано с необходимостью обеспечения интенсивного подвода и отвода тепла с противоположных сторон термоэлектрического модуля, что требует использования значительной поверхности теплообмена. При этом возникает необходимость не только снижения термического сопротивления переносу теплоты со стороны горячего и холодного потоков использованием, например, оребрения стенок каналов, но и обеспечения однородности температурного поля в стенках теплоподводящих каналов за счет применения оребрения с переменными характеристиками, что является необходимым условием повышения эффективности работы термоэлектрического генератора.

В связи с вышеизложенным поставленная в диссертационной работе Базыкина Дениса Александровича «Интенсификация теплопередачи для повышения эффективности термоэлектрических генераторных модулей» научно-техническая задача, заключающаяся в повышении эффективности термоэлектрических генераторных модулей за счет интенсификации

теплопередачи между каналами прямоугольного сечения, является актуальной. Решение указанной задачи имеет важное значение в контексте повышения КПД термоэлектрических систем, которое потенциально оказывает влияние на развитие автономных энергетических технологий в будущем.

Способ повышения эффективности термоэлектрических генераторных модулей за счет нивелирования температурной неоднородности стенок контактирующих с модулями каналов путем применения в них оребрения переменной высоты не влечет за собой особого усложнения технологии изготовления оборудования, что существенно повышает его применимость в производстве. В диссертационной работе Базыкин Денис Александрович решил поставленные задачи, используя эмпирические и численные методы проведения исследования.

Работа выполнена в рамках НИР кафедры «Теоретическая и промышленная теплоэнергетика» ФГБОУ ВО «ВГТУ» по теме ГБ 2022.12 «Интенсификация теплообмена в элементах теплоэнергетических установок».

### **Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций**

Автором проанализирована современная литература по применению и конструктивным особенностям термоэлектрических генераторных модулей, обоснованы способы повышения эффективности их функционирования, в основе которых лежит идея интенсификации теплообмена в подводящих каналах потоков от источников теплоты с разными температурами и сделан вывод о том, что поставленные в работе задачи можно решить на основании анализа натуральных и вычислительных экспериментов, обеспечивающих нивелирование неоднородностей температурных полей вдоль теплопередающих поверхностей. В списке литературных источников имеется 116 наименований.

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций диссертации подтверждается корректным использованием теоретических положений аппарата явлений переноса, математического моделирования, апробированных численных методов, проведением теплотехнического эксперимента на сконструированной опытно-промышленной установке по общепринятым методикам с использованием поверенной контрольно-измерительной аппаратуры и согласованностью полученных результатов с вычислительным экспериментом и данными других авторов.

### **Оценка новизны основных научных положений, выводов и рекомендаций**

В качестве основных новых научных результатов, полученных в ходе проведенных исследований, автором выдвинуты:

- способ повышения эффективности термоэлектрической генераторной установки, отличающийся использованием продольного оребрения переменной высоты на стенках каналов для выравнивания поля температур;

- эмпирическая зависимость для оценки числа Нуссельта в зависимости от числа Рейнольдса, отличающаяся учетом коэффициента затенения проходного сечения канала.

- результаты сравнительного анализа численного моделирования и экспериментов на пилотной установке, отличающиеся учетом влияния геометрии оребрения каналов.

Результаты, полученные в диссертационном исследовании, являются новыми, достоверными и прошли апробацию на различного уровня научно-практических конференциях и семинарах.

Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Основные научные результаты диссертационной работы достаточно полно отражены в 11 научных работах, в том числе 4 – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и 1 приложения. Объем диссертационной работы с приложениями – 130 страниц.

Теоретическая и практическая значимость диссертационной работы заключается в разработанном способе повышения эффективности работы термоэлектрических генераторных модулей за счет интенсификации теплопередачи между каналами прямоугольного сечения с оребрением стенок и путем минимизации неоднородности температурного поля стенок каналов применением продольного оребрения переменной высоты. Критериальная эмпирическая зависимость для числа Нуссельта с учетом затенения площади проходного сечения каналов может быть использована для прогнозирования характеристик термоэлектрических генераторных установок в различных предметно-ориентированных областях. Предложенная численная модель позволяет идентифицировать гидротермическую структуру потоков теплоносителей и температуру смоченных поверхностей канала при обосновании рациональных режимов функционирования термоэлектрических генераторных установок.

Результаты диссертационного исследования рекомендованы при создании новых и для модернизации существующих автономных источников электропитания на базе термоэлектрических генераторных модулей. Результаты диссертационного исследования внедрены в практику ООО ФПК «Космос-Нефть-Газ» (г. Воронеж).

### **Соответствие диссертации и автореферата паспорту научной специальности**

Диссертационная работа и автореферат соответствуют паспорту специальности 2.4.6. Теоретическая и прикладная теплотехника, а именно пунктам:

п. 6 – научные основы повышения эффективности использования энергетических ресурсов в теплотехническом оборудовании и использующих теплоту системах и установках;

п. 8 – новые конструкции теплопередающих и теплоиспользующих установок и оборудования, обладающих улучшенными эксплуатационными и технико-экономическими характеристиками. Совершенствование методов расчета и оптимизации параметров использующих теплоту технологических процессов, оборудования и систем.

### **Замечания по диссертационной работе**

1. На с. 43 диссертации приведены характеристики используемой в опытно-промышленной установке противоточной вихревой трубы и отмечено, что при эксплуатации данной вихревой трубы наивысшее значение эффективности терморазделения воздушного потока имеет место при соотношении расходов горячего и холодного потоков как 1 : 4. Почему при проведении натурального эксперимента это соотношение составляло примерно 1:3?

2. На стр. 50 указаны геометрические характеристики оребрения переменной высоты и количество ребер для каждого канала. Однако в работе отсутствуют данные о шаге оребрения, а также нет информации о том, каким образом он был выбран или рассчитан.

3. При определении числа Эйлера обычно используют отношение перепада давления в потоке к его динамическому давлению, что позволяет, например, объяснить поведение зависимостей числа Эйлера от числа Рейнольдса (линии 3 и 4) на рис. 2.13 для холодного потока приближением к области квадратичного закона сопротивления.

При определении числа Эйлера по формуле 2.6 (с. 54) с использованием отношения абсолютного давления потока к динамическому давлению теряется возможность идентификации различных законов сопротивления, определяемых гидродинамическими условиями анализируемых потоков.

4. На рис. 2.17 (с. 59) представлена зависимость относительного изменения мощности генерируемого тока при использовании оребрения к варианту с конструкцией канала без оребрения от давления на входе в вихревую трубу. Чем можно объяснить уменьшение влияния оребрения каналов на генерируемую мощность термоэлектрической установки при увеличении давления на входе в вихревую трубу?

5. В тексте работы имеются некоторые неточности. Так на рис. 2.1 отсутствуют обозначения позиций манометра 9 и ротаметра 10 на линии холодного потока после вихревой трубы, при описании формулы 2.5 некорректно используется словосочетание «переходный режим течения» вместо «переходная область течения», на с. 74 имеется опечатка в слове «пользователь».

В целом, отмеченные замечания не снижают качество полученных теоретических и практических результатов диссертационного исследования.

### **Заключение**

Диссертация Базыкина Дениса Александровича представляет собой законченную научно-квалификационную работу, написанную автором самостоятельно, обладающую внутренним единством, выполненную на высоком

научном и методическом уровне, содержащую новое решение важной научно-технической задачи в области повышения эффективности использования энергетических ресурсов в термоэлектрических генераторах путем применения продольного оребрения переменной высоты. Полученные автором научные результаты представляются достоверными, а сформулированные выводы обоснованными. В диссертационной работе отсутствуют заимствованные материалы без ссылок на автора или источник заимствования, результаты совместных работ, выполненных в соавторстве, подтверждаются ссылками на авторов. Автореферат правильно отражает содержание диссертации. Диссертационная работа отвечает критериям п. 9-14 «Положение о порядке присуждения ученых степеней» ВАК Министерства образования и науки РФ, предъявляемых к кандидатским диссертациям, а соискатель, Базыкин Денис Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.6. Теоретическая и прикладная теплотехника.

### Официальный оппонент

профессор 24 кафедры криогенных машин,  
установок и электрогазовой техники ФГКВОУ ВО  
«Военный учебно-научный центр  
Военно-воздушных сил «Военно-воздушная  
академия имени профессора Н.Е. Жуковского и  
Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), доктор технических наук  
(специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование,  
численные методы и комплексы программ» и 01.04.14 –  
«Теплофизика и теоретическая теплотехника»), доцент



Слюсарев Михаил Иванович

Дата: 03.04.2025г.

Подпись Слюсарева  
Ученый секретарь У  
ВУНЦ ВВС «ВВА»

заверяю



ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР КОСМОСА И АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

 А.А. Томилов

Адрес организации: 394010  
Телефон: 8 (473) 226-47-52  
E-mail: vaiu@mil.ru

Старых Большевиков, д. 54А