

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора технических наук, профессора, Соломина Евгения Викторовича на диссертацию Салих Саджад Абдулазим «Экспериментальное и численное исследование двигателя гамма-стирлинга с использованием сложного рабочего тела (Experimental and numerical investigation of gamma Stirling engine utilizing compound working fluid)», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности

2.4.5. Энергетические системы и комплексы.

Актуальность темы исследования и степень ее разработанности

Рост численности населения планеты, резкий рост электропотребления в XXI веке привел к катастрофическим масштабам воздействия человечества на окружающую среду и планету в целом. Возобновляемые источники энергии (солнце, ветер, геотермальное тепло и др.) могли бы быть безопасными источниками «зеленой» энергии. Однако в настоящее время и на ближайшие десятилетия вперед основным источником энергии остаются ископаемые углеводородные виды топлива, доля которых превышает 85%. В этой ситуации возникает острая необходимость повышения энергетической эффективности использования углеводородных видов топлива в существующих паровых и газотурбинных технологиях, что может привести к снижению потребления топлива и эмиссии продуктов сгорания (в т.ч. парниковых газов) в атмосферу. В технически развитых странах с этой целью развиваются технологии парогазовых и ультрасверхкритических установок. В то же время в большинстве регионов мира население использует электростанции на дорогостоящем моторном топливе.

Технология двигателя Стирлинга, способного производить механическую работу при циклическом нагреве и охлаждении газа в замкнутом объеме при внешнем нагреве его любым топливом или солнцем, известна более 200 лет. Научные исследования и опытно-конструкторские разработки двигателя Стирлинга и его различных модификаций выполнялись в России такими учеными и инженерами, как Ноздрюхин Г.А., Комов А.Т., математическим

моделированием узлов двигателя занимались Гапоненко А.М., Каграманова А.А. и другие, использование солнечной энергии для нагрева компонентов двигателя предложили Стребков Д.С. и Панченко В.А. Большой цикл исследований и разработок использование солнечной энергии для нагрева рабочего тела в двигателе Стирлинга выполнен зарубежными учеными (Гупта М., Абба М., Боретти А. и др.). В целом исследователями обоснована перспективность дальнейшего улучшения двигателя Стирлинга гамма-типа.

Согласно сценарию Международного энергетического агентства нулевых выбросов к 2050 году, интенсивность выбросов мировой энергетической отрасли должна снизиться к концу текущего десятилетия на 60% .

Дальнейшая разработка двигателя Стирлинга гамма-типа с использованием эффектов повышения объемного расширения газов при добавлении к ним низкокипящих жидких фракций (вследствие увеличения объема паров при вскипании жидкости) является актуальной задачей, позволяющей повысить давление и мощность двигателя; повысить термодинамическую эффективность, снизить расход топлива и эмиссию продуктов сгорания (в т.ч. парниковых газов).

Тема диссертации представляется актуальной. Двигатели Стирлинга известны своей эффективностью и потенциалом, а использование составных рабочих жидкостей открывает новые пути для повышения производительности двигателя. Объединяя численное моделирование с экспериментами, данное исследование обеспечивает всестороннее понимание того, как составные жидкости могут улучшить теплопередачу, выходную мощность и общую эффективность. Направленность исследования как на практическую реализацию, так и на теоретические изыскания делает его ценным вкладом в области энергетики.

Объем и структура работы: Диссертация включает в себя введение, пять глав, заключение, 231 источник в библиографии, список сокращений и дополнительные приложения. Диссертация состоит из 200 страниц, включено 96 рисунков и 15 таблиц.

В первой главе дается описание двигателя Стирлинга, анализ различных модификаций и типов двигателей Стирлинга с приведением технических характеристик каждого типа и потенциальное применение. Подробно анализируется принцип работы двигателя Стирлинга и термодинамические процессы преобразования тепловой энергии в механическую энергию в этом типе двигателя. Рассмотрены основные части и компоненты двигателя Стирлинга, включая поршни, цилиндры, теплообменники и управляющие механизмы; обсуждается влияние различных факторов, таких как температура, давление и тип рабочей жидкости на эффективность двигателя. Выделены факторы, которые необходимо учитывать для улучшения производительности двигателя и повышения его эффективности и устойчивости.

Автором показано, что рабочее тело играет важную роль в работе двигателя Стирлинга; выбор рабочего тела напрямую влияет на термодинамическую эффективность двигателя. Различные рабочие тела обладают различными термодинамическими свойствами, такими, как удельная теплоемкость, теплопроводность и вязкость, которые влияют на производительность двигателя. Выбор подходящего рабочего тела оптимизирует процессы роста давления и теплообмена внутри двигателя, тем самым влияя на его эффективность.

Комбинация газов и жидкостей с низкой температурой кипения может обеспечить улучшение свойства теплообмена по сравнению с однокомпонентными рабочими жидкостями. Газы обладают высокой теплопроводностью, а жидкости могут переходить из одной фазы в другую (испарение и конденсация) при относительно низких температурах, облегчая эффективный теплообмен между горячим и холодным концами двигателя. Это приводит к улучшению термодинамической и энергетической эффективности двигателя Стирлинга.

Во второй главе представлен подробный анализ подходов и методов для повышения производительности двигателя Стирлинга. Глава начинается с введения в важность оптимизации производительности двигателя, приводятся различные факторы, которые могут влиять на параметры двигателя.

Проводится тщательный обзор литературы, охватывающий научные статьи, диссертационные работы и отчеты промышленных ведомств, относящихся к технологии двигателя Стирлинга. Обзор выявляет общие тенденции, инновационные методы и новые технологии, применяемые для повышения эффективности двигателя. Определены ключевые области исследований, показан динамический прогресс в области материаловедения, механизмов теплообмена и оптимизации конструкции системы. Глава завершается подробным обобщением результатов обзора литературы, выделяя значительные вклады, пробелы в текущих исследованиях и потенциальные направления для будущих исследований. Особое внимание уделяется последним достижениям и передовым исследовательским инициативам, направленным на расширение границ производительности двигателя Стирлинга.

Третья глава представляет исследование методов термодинамического моделирования и анализа, применимых к двигателям Стирлинга. Рассматриваются различные термодинамические модели, включая модели от нулевого до четвертого порядка, с учетом их применимости к системам двигателей Стирлинга. Каждая модель в ходе проектирования и оптимизации двигателя анализируется с точки зрения ее преимуществ, недостатков и практического применения. Особое внимание уделяется моделям первого и второго порядка, включая анализ Шмидта и идеальный/неидеальный адиабатический анализ, которые широко используются для оценки термодинамической и энергетической эффективности двигателя Стирлинга.

Исследуется роль компьютерного моделирования и инструментов симуляции в прогнозировании поведения двигателя и оптимизации общей производительности системы. С помощью практических примеров демонстрируется применение термодинамических моделей в реальных инженерных технологиях цикла Стирлинга.

Анализируются изменения в динамике работы рабочих органов в областях расширения и сжатия, которые влияют на термодинамическую и энергетическую эффективность. Общая работа, выполненная двигателем за

цикл, определяется совокупной работой, выполненной в пространствах сжатия и расширения.

Приводится сводка различных порядков моделей, используемых в анализе двигателей Стирлинга, включая упрощенные концептуальные модели и более подробные и сложные конструкции.

Четвёртая глава посвящена описанию экспериментальных методик и этапов исследования гамма-двигателя Стирлинга.

Испытания включают использование жидкостей с различными объемными соотношениями в герметичном цилиндре, содержащем воздух, который затем подвергается нагреву электрическим термостатом. С целью демонстрации повышения эффективности и производительности гамма-двигателя Стирлинга путем оптимизации его рабочих процессов проведены эксперименты с введением жидких добавок к основному рабочему газу в камере двигателя.

Пятая глава представляет анализ и обсуждение результатов, полученных как в результате математического моделирования, так и на основе экспериментальных исследований гамма-двигателя Стирлинга. Экспериментальное исследование позволило точно измерить основные параметры производительности, включая мощность.

Путем с изменения состава рабочей жидкости изучены характеристики двигателя и выявлены его операционные пределы. Геометрические и операционные параметры двигателя Стирлинга являются важными факторами, влияющими на его производительность, эффективность и характеристики эксплуатации. Оптимизация этих параметров критически важна для достижения необходимого баланса между мощностью, эффективностью и надежностью применения двигателя Стирлинга. Полученные результаты демонстрируют, что производительность двигателя Стирлинга улучшается в результате добавления ацетона и спирта в воздух, присутствующий в двигателе.

Научная новизна исследования

1. Впервые изучена возможность использования комплексного рабочего тела, состоящего из рабочего газа с добавками низкокипящих

жидкостей, позволяющая использование в одной технологии элементов цикла Стирлинга (газ) и цикла Ренкина (пар).

2. Доказано, что введение низкокипящих жидкостей позволяет получить значительное увеличение объема рабочего тела при нагреве и более высокое давление в рабочем цилиндре двигателя Стирлинга, что позволяет получить повышение мощности двигателя.

3. Создана математическая модель функционирования двигателя Стирлинга с комплексным рабочим телом в пакете MATLAB/Simulink. Модель позволяет изучить использование комплексного рабочего тела вместо одного рабочего тела.

4. Впервые выполнено численное моделирование термодинамической и энергетической эффективности двигателя Стирлинга с комплексным рабочим телом на основе программного кода ASPEN-HYSYS.

Степень обоснованности научных положений, выводов, рекомендаций, сформулированных в диссертации

Достоверность результатов работы обеспечивается применением известных, проверенных методов расчета, апробированного программного обеспечения, а также сравнением полученных данных с экспериментальными данными.

Основные результаты представлены в 10 научных работ, из них 8 статей опубликованы в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Российской Федерации и Аттестационным советом УрФУ, включая 7 статей, индексируемых в международной базе данных Scopus.

Вопросы и замечания:

1. Одной из главных задач диссертационной работы является разработка, создание и исследование конструкции двигателя Стирлинга гамма-типа. Однако в работе нет ни чертежа, ни 3D модели конструкции. Каким образом без конструкторской документации был изготовлен экспериментальный образец? В Заключение также нет упоминания о решении данной важной задачи.

2. Каким образом отбирался состав рабочей жидкости? Почему в виде добавок были выбраны именно ацетон, этанол? Почему не рассматривались другие виды спиртов, нано-жидкостей и т.д. Или же альтернативы по какой-либо причине были отклонены?

3. Один из пунктов Научной новизны представляет возможность использования в данной технологии цикла Ренкина с соответствующим повышением общей эффективности конструкции. Однако в диссертации результаты исследования цикла приведены лишь в виде известных формул, без пояснения того, как качественно и количественно возрастает эффективность.

4. Какие потенциальные варианты промышленного применения двигателей Стирлинга гамма-типа могут быть приведены в области возобновляемой энергетики?

5. Какие потенциальные жидкости рассматриваются в части проведения будущих исследований, планируется ли использование нано-жидкостей?

6. В работе имеется множество технических и лингвистических неточностей, судя по всему, связанных с языковым барьером.

Заключение:

Диссертация Салих Саджад Абдулазим на тему «Экспериментальное и численное исследование двигателя гамма-стирлинга с использованием сложного рабочего тела (Experimental and numerical investigation of gamma Stirling engine utilizing compound working fluid)», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, является самостоятельной, законченной, актуальной научно-квалификационной работой, обладающей научной новизной и практической значимостью, в которой разработаны методы повышения эффективности двигателя Стирлинга гамма-типа.

Диссертация и автореферат соответствуют пунктам 1, 2, 4 и 6 Паспорта специальности 2.4.5. Энергетические системы и комплексы.

Автореферат диссертации Салих Саджад Абдулазим полностью соответствует тексту диссертации, отражает ее основное содержание, имеет

логически грамотное построение и последовательность изложения результатов исследования.

Диссертация удовлетворяет требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ, а ее автор, Салих Саджад Абдулазим, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.5. Энергетические системы и комплексы.

Официальный оппонент:

доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры «Электрические станции, сети
и системы электроснабжения»

ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный
университет (национальн^{ый} исследовательский университет)»

 _____ Соломин Евгений Викторович

«11» октября 2024 г.

Почтовый адрес организации:

Россия, 454080, Челябинск, проспект Ленина, 76

ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный

университет (национальный исследовательский университет)»

Тел: +79123171805

Эл. почта: nii-uralmet@mail.ru

Подпись Е.В. Соломина заверяю



Ю
льник служб
роизводства
дулина

ту
