



САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
SAMARA UNIVERSITY

федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева»

ул. Московское шоссе, д. 34, г. Самара, 443086
Тел.: +7 (846) 335-18-26, факс: +7 (846) 335-18-36

Сайт: www.ssau.ru, e-mail: ssau@ssau.ru
ОКПО 02068410, ОГРН 1026301168310,
ИНН 6316000632, КПП 631601001

13.06.2018 № *001-3316*

На № _____ от _____

Ученому секретарю
диссертационного совета
Д 212.082.02
д.т.н., профессору ЗВЕРЕВОЙ Э.Р.

420066, г. Казань,
ул. Красносельская, д. 51
КГЭУ

Уважаемая Эльвира Рафиковна!

Направляю Вам отзыв официального оппонента д.т.н., проф. Григорьева В.А. на диссертацию ХАСАНОВА Наримана Гаязовича, на тему «Влияние неидеальности термодинамических свойств рабочих тел на процессы в ГТУ с промежуточным охлаждением воздуха», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Приложение: отзыв на 6 стр., 2 экз.

Ученый секретарь
Самарского университета
д.т.н., профессор

Кузьмичев В.С.

Отзыв
официального оппонента
на диссертацию Хасанова Наримана Гаязовича
«Влияние неидеальности термодинамических свойств рабочих тел на
процессы в ГТУ с промежуточным охлаждением воздуха»

Опыт создания современных и проектирования перспективных газотурбинных установок свидетельствует о том, что главное направление их развития естественно связано с ростом температуры газа перед турбиной T_g^* , и степени повышения давления в компрессоре π_k . Последнее настоятельно диктует применение многокаскадных схем турбокомпрессора. А это, в свою очередь, требует для повышения эффективности силовой установки, рассматривать схемы с промежуточным охлаждением воздуха. Известное полезное воздействие на термодинамические процессы в той или иной степени нашло применение и в авиационных газотурбинных двигателях, в частности, например, понижение температуры воздуха, отбираемого от компрессора высокого давления для охлаждения высоко нагретых элементов турбины. Естественно желательно рассматривать такие улучшения уже на начальных этапах проектирования. Этого можно достигнуть с помощью математических моделей, учитывающих различные аспекты рабочего процесса на более высоком уровне. Однако до последнего времени разработка таких моделей процессов повышения давления и расширения газа в турбине сдерживалось методическими трудностями, связанными с учетом неидеальных термодинамических свойств рабочих тел в компрессоре и турбине. Создание таких моделей, методологии их применения и достаточно детальное исследование многих аспектов повышения эффективности силовых установок с промежуточным охлаждением – делает работу Хасанова Н.Г. несомненно актуальной. Рассматриваемую работу в этом плане выгодно отличает органичное сочетание процессов математического моделирования и более совершенных подходов к проектированию силовых установок на основе глубокого изучения свойств рабочих тел. Применение надежных и достоверных методов математического моделирования, учитывающих влияние неидеальных свойств воздуха и газа, позволяет всесторонне рассматривать ранее не учитываемые факторы и условия уже на ранних этапах проектирования ГТУ. Именно тогда, когда расчетная информация становится чрезвычайно важной и, зачастую, решающей.

Наиболее значимым достижением диссертационной работы следует считать установление количественных зависимостей изоэнтропического КПД компрессора и его каскадов с учетом изменения термодинамических свойств рабочего тела в промежуточном охладителе при сохранении постоянства политропического КПД процесса. Важность результатов оптимизационных исследований в этих условиях общей и каскадной степени повышения давления по критериям полезной мощности и термического КПД прекрасно понимает автор работы – Хасанов Н.Г. Знакомство с диссертацией, заслушивание её основных результатов на заседании цикла кафедры теории двигателей летательных аппаратов Самарского университета показывает, что автор хорошо знаком с проблемами повышения эффективности газотурбинных установок. Его диссертационная работа является заметным вкладом в решение теоретических и практических проблем газотурбостроения.

Рассматриваемая работа состоит из введения, трех глав, списка литературы из 169 наименований, приложения на 4 стр., в которых приведены акты внедрения результатов работы в производственную деятельность Казанской ТЭЦ-2 и в учебный процесс Казанского государственного энергетического университета.

Во **введении** на основе общей характеристики работы обоснована актуальность диссертации, сформулирована цель исследования и задачи, решение которых обеспечивает достижение цели, определен объект исследования – термодинамические процессы в ГТУ с промежуточным охлаждением, показана область исследования – исследование термодинамических процессов и циклов применительно к установкам производства и преобразования энергии.

Перечислены элементы диссертации, составившие научную новизну работы, обоснована достоверность научных результатов, их практическая ценность и направления реализации работы.

Это позволило автору сформулировать положения, которые выносятся на защиту и дать информацию о том, где работа представлялась научному сообществу для обсуждения.

В **первой главе** детально описан ГТУ с промежуточным охлаждением, проанализированы методы теплового расчета процессов в ГТУ, сопоставлены результаты расчетов для реального и идеального газа с использованием точных и приближенных методов, сформулирована задача

оптимизации степени повышения давления в ГТУ и рассмотрены методы её решения.

Перечисленные действия выполнены на основе анализа опубликованных работ других авторов.

Во **второй главе** разработаны аппроксимационные зависимости для учета термодинамических свойств рабочих тел на основе метода конечных элементов. Это позволило усовершенствовать математические модели расширения и повышения давления реальных газов в изоэнтропическом характере процессов. Усовершенствованный на этой основе метод расчета позволяет учесть переменность теплоемкости, влияние удельного объема на внутреннюю энергию рабочего тела, оценить действительную работу с учетом необратимости процесса при установлении связи между изоэнтропическим КПД процесса и его элементарных участков. Модель процесса расширения в турбине была проверена для четырех газов при нескольких степенях расширения π_T .

В **третьей главе** решается задача оптимизации. Для этого выбраны величины относительных потерь давления в промежуточном охладителе. Сформированы алгоритм оценки изоэнтропического КПД каскада компрессора. Разработаны математическая модель процесса оптимальной степени повышения давления $\pi_k^{(1)}$ и $\pi_{k \Sigma}$ с использованием критериев термический КПД и полезная работа цикла. В качестве входных (неуправляемых) переменных приняты: расход воздуха G_v , температуры T_1^* , T_2^* и T_3^* , коэффициенты потерь давления заторможенного потока перед компрессором ВД, $\sigma_{КС}$, $\sigma_{ПО}$, σ_T , КПД компрессора $\eta_{из}$ и турбины η_T , характеристики топлива – природного газа осредненного состава. Допущено, что охлаждение турбины отсутствует. Поиск экстремумов проводился фактически покоординатным поиском с применением аппроксимационных зависимостей и последующим исследованием многочленов на максимум.

Следует отметить, что автор установил весьма пологий характер целевых функций в окрестности максимума (что вообще говоря типично для зависимостей такого вида) и, в своих выводах, совершенно правильно предполагает не ориентироваться на экстремумы и отходить от «чистых» оптимумов по π_k в сторону более низких значений с целью решения не формализуемых условий задачи (уменьшения числа ступеней, снижение металлоемкости изделия, удешевление ГТУ).

Представленные материалы диссертации убедительно показывают научный уровень, глубину и тщательность проведенного соискателем анализа сложившегося состояния с учетом влияния свойств рабочего тела на выходные данные ГТУ (глава 1), обоснования теоретической (глава 2) и расчетной части исследования (глава 3).

Отличительной особенностью данной работы является сочетание подтвержденной убежденности в целесообразности детального учета свойств рабочего тела при исследовании процессов ГТУ с одной стороны и разработанных программно-методических средств для подтверждения и количественной оценки улучшения эффективности ГТУ с другой стороны. Такой подход во многом обеспечивает согласие оппонента с надежностью обоснования автором научных положений, выводов и заключений по работе.

Достоверность и научная новизна результатов и основных положений работы, принятых допущений и корректность использованных методов обосновывается применением фундаментальных основ термодинамики и теплофизики и подтверждается результатами оценки адекватности теоретических моделей с расчетными и экспериментальными данными, сопоставлением своих результатов с результатами работ других авторов.

Теоретическая ценность работы напрямую связана с достижением сформулированных позиций по научной новизне.

Практическая ценность работы определяется тем, что её результаты можно использовать (и уже используются):

- на этапе исследования оптимальных рабочих процессов ГТУ;
- на этапе проектирования можно использовать полученные в диссертации результаты и рекомендации;
- в учебном процессе – исследовать влияние свойств рабочего тела и оценивать эффективность различных вариантов организации рабочего процесса ГТУ.

Основные результаты диссертации докладывались на научно-технических конференциях и семинарах. Содержание диссертации достаточно полно отражено в автореферате.

Рецензируемая работа не лишена недостатков:

- при оценке эффективности ГТД отсутствует обоснование использования только одного режима, но ведь хорошо известно, что промежуточные режимы оказывают заметное влияние на

эффективность ГТД, скажем по критерию стоимость жизненного цикла ГТУ;

- в заключении и выводах нет четкого ответа – о достижении цели исследования, о качественной и количественной её оценке;
- в обзоре выполненных работ автор выбрал обобщенную и упрощенную схему анализа вклада предшественников, которая не позволяет детально рассмотреть их результаты и использовать при формулировании цели и задач своего исследования;
- автор оперирует при описании работы ГТУ теоретическими моделями процессов повышения давления и понижения давления, поэтому добавление в качестве агрегата охладителя готового размерного модуля, вызывает недоумение.

Следует сделать также и ряд замечаний по качеству и стилю оформления.

1. Было бы целесообразно использовать единые в рамках работы термины процесса – изоэнтальпический или адиабатный.

2. Нарушены правила пунктуации

- на стр. 10, 17, 18, 22, 23, 27, 64, 68, 69, 70, 71, 73, 82 – отсутствуют точки или запятые;
- на стр. 23, 24 после скобки поставлено слово с прописной буквой;
- табл. 2.1, 2.3, 2.5, 2.9 выполнены с нарушением норм для таблиц;
- расчетные зависимости на стр. 2.3, 2.4, 2.5, 2.6, 2.7, 2.11, 3.3, 3.4, 3.10 построены по расчетным точкам;
- весьма трудно анализировать рис. 2.18, 2.19, 2.20, 2.21, т.к. использованы очень ненаглядные обозначения;
- в выводах на стр. 80 после двоеточия поставлены слово с прописной буквы;
- часто в тексте пишется работа, а далее идет символ мощности L ;
- несколько раз, в частности на стр. 117 используется термин высокотемпературное сжатие, что это?
- на наш взгляд термин «сжатие» лучше использовать для поршневых машин, для лопаточных компрессоров целесообразно применять термин «повышение давления».

Указанные недостатки и замечания не снижают в целом положительной оценки рецензируемой научно-квалификационной работы, которая является законченным научным исследованием, содержащим новые решения

улучшения эффективности ГТУ на основе учета термодинамических свойств рабочего тела, имеющим существенное значение для соответствующей отрасли знаний, а именно – тепловым установкам производства и преобразования энергии.

Диссертационная работа ХАСАНОВА Н.Г. соответствует требованиям п.9. Положения о присуждении ученых степеней, а автор заслуживает присуждения ученой степени кандидат технических наук по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Официальный оппонент
доктор технических наук, профессор
ГРИГОРЬЕВ Владимир Алексеевич,
профессор кафедры теории
двигателей летательных аппаратов



Докторская диссертация защищена по специальности 05.07.05. – Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Самарский национальный исследовательский университет имени
академика С.П. Королева» (Самарский университет)

Адрес места основной работы
443086, Самара, Московское шоссе, д. 34.
Рабочий телефон (846) 267-48-81.
Адрес электронной почты: va_grig@ssau.ru

Сведения заверяю
ученый секретарь
Самарского университета,
д.т.н., профессор



Кузьмичев В.С.