

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор  
ОАО «И...», д.т.н., доцент  
В.Е. Михайлов

«И» 05 2019г.

### О Т З Ы В

Ведущей организации ОАО «Научно-производственное объединение по исследованию и проектированию энергетического оборудования им. И.И. Ползунова» (ОАО «НПО ЦКТИ»),  
на диссертационную работу **Серкова Сергея Александровича**  
**«Идентификация и устранение углового отрыва потока в лопаточных венцах при решении задач численного моделирования течения в осевых компрессорах ГТД»**,  
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.04.12 - «Турбомашины и комбинированные турбоустановки».

Диссертация Серкова С.А. посвящена важной научной и практической проблеме, касающейся одного из основных элементов двигателя газотурбинной установки (ГТУ) – осевого компрессора, являющегося наиболее ответственным и энергоемким элементом двигателя, потребляющим значительную долю мощности развиваемой турбиной, и во многом определяющим надежность и эффективность энергетической установки в целом.

#### Актуальность темы диссертации.

Актуальной задачей, с решением которой связан прогресс современного газотурбостроения, является повышение экономичности, единичной удельной мощности и надежности стационарных и транспортных газотурбинных установок. Указанная проблема во многом разрешается за счет совершенствования лопаточного аппарата осевого компрессора ГТУ, в направлении создания более экономичных и высоконагруженных ступеней, а также совершенствования процессов взаимодействия лопаточных венцов проточной части компрессора. При этом, аэродинамическое проектирование лопаточного аппарата осевого компрессора заключается в определении оптимальной формы профилей лопаток, составляющих решетки его рабочих и направляющих венцов, при условии совершения требуемой работы в решетках с минимальным уровнем сопутствующих потерь энергии.



Исследования, выполненные Серковым С.А., позволили изучить процесс возникновения и развития нестационарного процесса - углового отрыва в ступенях проточной части осевого компрессора ГТУ, провести расчетный анализ характеристик лопаточного аппарата, выполнить оптимизацию профилей в плоских решетках и оптимизации углов установки профилей в решетках с учетом взаимного аэродинамического влияния ступеней проточной части, а также разработать новый алгоритм параметрического описания формы образующих профилей в решетке с тангенциальным навалом. Получен алгоритм оптимизации форм профилей и углов установки профилей в решетке с целью минимизации влияния углового отрыва потока на работу всей проточной части в рамках конкретной задачи проектирования.

Получены аналитические критерии оценки наличия углового отрыва в направляющих венцах ступеней и степени его развития и влияния на энергетические процессы в проточной части осевого компрессора ГТУ. Результаты исследований и предложенные на их основе технические решения по оптимизации геометрических характеристик лопаточных венцов, и углов их установки апробированы в конструкции находящегося в промышленной эксплуатации компрессора ГТУ, где показали свою эффективность. В результате выполненных исследований получены данные, свидетельствующие о возможности повышения характеристик экономичности и надежности осевых компрессоров ГТУ.

Изложенное позволяет считать тему диссертации Серкова С.А. и выполненные им исследования актуальными. Они свидетельствуют о возможности и в дальнейшем при соответствующем развитии, осуществлять оптимизацию характеристик проточной части компрессора с целью минимизации влияния нестационарных процессов на его работу, разработки новых профилей лопаточных венцов осевых компрессоров ГТУ на основе многофакторной оптимизации аэродинамических, энергетических и геометрических характеристик лопаточных решеток ступеней, с учетом аэродинамического взаимодействия венцов проточной части, косоугольного обтекания профилей, влияния эффектов вязкости в граничных элементарных решетках профилей, условий эксплуатации.

Научная новизна результатов, полученных автором диссертации.

К числу новых научных результатов исследований относятся:

- Предложенный критерий для определения вихревой вязкости потока при CFD расчете потока в лопаточном венце проточной части осевого компрессора;
- Предложенные критерии для идентификации углового отрыва и его размеров в межлопаточном канале лопаточного венца осевого компрессора ГТУ;
- Предложенный способ объективной оценки фактических условий работы лопаточного венца осевого компрессора на основе разработанных критериев идентификации углового отрыва;



- Разработанный подход к проектированию формы плоских профилей лопаточных венцов с тангенциальным навалом и критерий для выбора оптимального режима работы лопаточного венца;

- Полученные результаты экспериментальных исследований влияния углового отрыва в проточной части осевого компрессора при эксплуатации натурной ГТУ.

Практическая значимость результатов исследований заключается в следующем:

- Разработаны рекомендации для аэродинамического расчета лопаточных венцов осевого компрессора в условиях присутствия в проточной части устойчивой вихревой структуры;

- Предложены рекомендации по идентификации углового отрыва в венце многоступенчатого осевого компрессора и определения его размеров на основе разработанных критериев;

- Разработаны рекомендации по выбору режима для оптимизации характеристик лопаточного венца осевого компрессора с целью повышения его эффективности;

- Разработана и апробирована при эксплуатации натурной ГТУ методика оценки степени развития углового отрыва в проточной части осевого компрессора;

- Разработаны рекомендации по оптимизации характеристик направляющего аппарата натурной ГТУ.

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

Основные положения и выводы диссертации Серкова С.А. базируются на теоретических и экспериментальных исследованиях, достоверность которых обеспечивается следующими мероприятиями:

- Расчетные исследования проведены с использованием современных широко применяемых программных комплексов, содержащих в основе алгоритмов фундаментальные законы газовой динамики и термодинамики, с использованием современного математического аппарата и общепринятых допущений.

- Экспериментальные исследования осуществлялись по апробированным методикам, на стендовом оборудовании, прошедшем метрологическую аттестацию. Результаты представлены с достаточными объемами выборок и статистическим анализом.

Полученные в диссертации научные результаты могут быть использованы на практике:

- При проектировании, доводке, модернизации лопаточного аппарата осевых компрессоров стационарных и транспортных ГТУ – проектными институтами и конструкторскими бюро заводов.



- При проведении исследований аэродинамических и энергетических характеристик осевых компрессоров, а также отдельных ступеней и венцов лопаточного аппарата – научно-исследовательскими институтами.

- При проведении проверочных расчетов с целью выполнения оценок возможного изменения характеристик компрессора и ГТУ в случае фактического нарушения геометрии профилей лопаток компрессора эксплуатационного и технологического характера – эксплуатирующими организациями.

- При подготовке профильными ВУЗами специалистов в области компрессорного оборудования и ГТУ промышленного и транспортного назначения.

Автореферат соответствует основным положениям и результатам диссертации.

С основными результатами и материалами диссертации научная общественность ознакомлена своевременно. По материалам диссертации имеется пять публикаций. Кроме этого, результаты работы докладывались на семи конференциях.

В качестве замечаний по работе следует отметить:

- Отсутствует учет влияния процесса обтекания профилей в решетках не на цилиндрических, а на конических поверхностях тока при оптимизации геометрических характеристик профилей и углов установки лопаточных венцов.

- Не учтены особенности обтекания профилей в элементарных решетках, расположенных у ограничивающих поверхностей ротора и корпуса компрессора, в части учета процессов в радиальных зазорах, при оптимизации аэродинамических и геометрических характеристик профилей лопаток и решеток венцов ступеней проточной части осевого компрессора ГТУ.

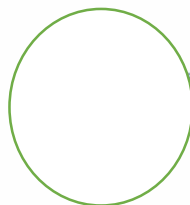

- Наилучшее совпадение результатов расчета с экспериментом достигается подбором коэффициента  $a_1$  (связанного с вихревой вязкостью – стр. 68) и коэффициента PPD (сглаживание профиля давления в междоменном интерфейсе - там же). Такой прием не обеспечивает улучшение точности расчета, а всего лишь позволяет получить похожую на эксперимент картину для одного конкретного расчета. Оснований для распространения полученных коэффициентов на другие расчеты нет.

- Отсутствует факторное планирование расчетных и экспериментальных многовариантных исследований.

Отмеченные замечания не снижают научной и практической значимости выполненной работы в целом. Диссертация Серкова С.А. представляет собой законченную научно-исследовательскую работу прикладного характера и вполне отвечает требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук (п.9 Положения о присуждении ученых степеней), а ее автор Серков Сергей Александрович заслуживает присвоения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.04.12. - «Турбомашины и комбинированные турбоустановки».



Отзыв на диссертацию и автореферат подготовлен на основании заключения отдела исследования турбоустановок, рассмотрен и утвержден на заседании Научно-технического совета ОАО «НПО ЦКТИ» 14 мая 2019 года, протокол № 4.

Заведующий лабораторией компрессорных установок, воздухоподготовки и шумоглушения энергетического оборудования отдела исследования турбоустановок ОАО «НПО ЦКТИ», к.т.н., доцент



Нечкин  
Борис Владимирович  
(812) 5788790  
gtu@ckti.ru

Ведущий инженер лаборатории аэродинамики турбин, отдела исследования турбоустановок ОАО «НПО ЦКТИ», к.т.н.



Мохов  
Алексей Валентинович  
(812) 5788970  
MokhovAV@ckti.ru

ОАО «Научно-производственное объединение по исследованию и проектированию энергетического оборудования им. И.И. Ползунова» (ОАО «НПО «ЦКТИ»): 191167, Санкт-Петербург, ул. Атаманская, д. 3/6, www.ckti.ru, e-mail: general@ckti.ru, тел.: (812) 7172379