

На правах рукописи

ГРИГОРЬЕВ ЕВГЕНИЙ ЮРЬЕВИЧ

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ
СНИЖЕНИЯ ВИБРАЦИИ
КОЛЬЦЕВЫХ ДИФФУЗОРОВ ГАЗОВЫХ ТУРБИН**

Специальность 05.04.12 – Турбомашины и комбинированные турбоустановки

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2014

Работа выполнена на кафедре Паровых и газовых турбин ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Научный руководитель: Зарянкин Аркадий Ефимович
заслуженный деятель науки и техники РФ,
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты:
доктор технических наук Черников Виктор Александрович
профессор кафедры «Турбины, гидромашины и
авиационные двигатели» ФГБОУ ВПО СПбГПУ

кандидат технических наук Гудков Эдуард Ильич
старший научный сотрудник ОАО «НПО ЦКТИ»,
г. Санкт-Петербург

Ведущая организация: ОАО «ВТИ», г. Москва

Защита состоится «24» июня 2014 г. в 18-00 час. на заседании диссертационного совета Д 212.229.06 в ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет» по адресу: 195251, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., д.29, Главное здание, ауд 118.

С диссертацией можно ознакомиться на сайте (<http://www.spbstu.ru>) и в Фундаментальной библиотеке ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургского государственного политехнического университета».

Автореферат разослан «__» _____ 2014 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
Д 212.229.06., к.т.н., доцент



Талалов Виктор Алексеевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Повышение показателей эффективности и надежности энергетического оборудования является актуальной задачей не только при создании нового оборудования, но и при его модернизации.

Однако, например, повышение КПД паровых и газовых турбин представляет исключительно сложную задачу, традиционные пути повышения экономичности и надежности указанных турбин практически себя исчерпали, т.к. КПД их проточных частей вплотную приблизился к теоретически возможным величинам.

В этой связи наиболее перспективными, с точки зрения повышения внутреннего относительного КПД турбины, являются работы, связанные со снижением безвозвратных потерь кинетической энергии потока рабочих тел, покидающих последние ступени паровых и газовых турбин.

Все турбостроительные фирмы мира проблеме снижения указанных потерь энергии уделяют особое внимание, пытаясь использовать кинетическую энергию уходящего потока для создания за последней ступенью пониженного давления за счет установки последующего геометрического диффузора.

При этом, однако, возникают серьезные проблемы с обеспечением вибрационной надежности диффузоров, обусловленные очень большими амплитудами пульсаций давления в их проточных частях. В результате приходится существенно ограничивать значения углов раскрытия их проточных частей, что при сохранении разумной длины диффузора, приводит к существенному снижению экономичности всей установки.

Для гашения вибраций кольцевых диффузоров в газотурбинных установках используются в основном пассивные методы, состоящие в установке дополнительных опор, использовании внешних гидравлических демпферов и некоторых других мер. То есть, в основу решения вибрационной надежности диффузоров положена борьба со следствием, а не с причиной возникновения вибрации, которая прямо связана с характером движения рабочих сред непосредственно у обтекаемых стенок диффузора.

Отмеченные обстоятельства определяют актуальность решений, призванных стабилизировать течение в широкоугольных кольцевых диффузорах (угол раскры-

тия внешней образующей 15° и более) выхлопных патрубков и за счет увеличения степени расширения без увеличения осевой длины снизить потери энергии и уровень вибрации рассматриваемых устройств.

Объекты исследования. Объектами исследования являются: кольцевые диффузоры с прямолинейными образующими и следующими углами раскрытия и степенями расширения:

Таблица 1. Геометрические характеристики рассматриваемых диффузоров

№ п/п	Угол раскрытия внешней образующей α_1 , град	Угол раскрытия внутренней образующей α_2 , град	Степень расширения n
1	7	0	2
2	15	0	2
3	15	0	4

Цель диссертационной работы. Целью диссертационной работы является разработка и изучение влияния систем стабилизации течения в условиях неравномерных входных полей скоростей рабочей среды на вибрационное состояние и экономичность широкоугольных кольцевых диффузоров. Для достижения поставленной задачи необходимо:

- провести анализ влияния характера течения в кольцевых диффузорах на вибрационные и аэродинамические характеристики в условиях неравномерных начальных полей скоростей, свойственных течениям за турбинной ступенью;
- разработать аэродинамические способы снижения (внутреннее оребрение, перфорированные экраны) уровня вибрации в кольцевых диффузорах без заметного снижения степени восстановления энергии;
- провести сравнительные исследования эффективности использования оребрения и перфорированного экрана в условиях закрученного и радиально неравномерного полей скоростей;
- разработать возможность использования полученных решений для повышения эффективности и надежности диффузоров в газовых турбинах.

Методы исследований и достоверность полученных результатов.

При выполнении работы широко использовались общепризнанные методы проведения физических экспериментов, численные исследования выполнялись с использованием лицензированного инженерного пакета Ansys CFX .

Достоверность полученных результатов обеспечивалась применением современной измерительной техникой, повторяемостью опытных данных, апробированными методиками обработки опытных данных и хорошим совпадением результатов модельных и численных исследований.

Научная новизна диссертационной работы состоит в следующем:

- проведены комплексные экспериментально- расчетных исследования серии кольцевых диффузоров по определению влияния особенностей течения в этих каналах при начальных неравномерных полях скоростей потока на аэродинамические характеристики диффузоров и показатели вибрации их стенок;

- доказано, что дозвуковая периферийная высокоскоростная струя на входе в кольцевые диффузоры с прямолинейными образующими не мешает расширению рабочего тела в направлении раскрытия стенок диффузора;

- разработана и оптимизирована система внутреннего продольного оребрения обтекаемых поверхностей кольцевых диффузоров, позволяющая снизить уровень вибрации на стенках диффузоров без роста потерь энергии;

- показано, что введение внутреннего оребрения обводов диффузора не приводит в условиях неравномерного потока рабочей среды (начальная закрутка, радиальная неравномерность) к общему росту потерь энергии в диффузоре;

- экспериментально показана возможность использования перфорированных экранов в любых геометрических диффузорах для снижения величины пульсаций потока вблизи защищаемой стенки без существенного роста потерь в диффузоре.

Практическая ценность работы. Полученные результаты позволяют использовать в системах выхлопных патрубков паровых и газовых турбин широкоугольные диффузоры (с углом раскрытия $15^{\circ}\div 20^{\circ}$ и степенью расширения 4) с высоким аэродинамическим совершенством и низким уровнем вибрации стенок канала.

Реализация и внедрение результатов работы. Результаты переданы филиалу ОАО «Интер РАО» «Ивановские ПГУ» для модернизации существующих блоков парогазовых установок.

Личный вклад автора. Участие автора выразилось в:

- проведении обзора литературы и анализе опубликованных данных;

- проектирование и изготовление экспериментального стенда, моделей кольцевых диффузоров;
- проведении экспериментальных исследований на серии кольцевых диффузоров;
- разработке и исследовании кольцевых диффузоров с новыми методами снижения вибрации их стенок;
- проведении численного моделирования течений в кольцевых диффузорах с гладкими стенками и с системами продольного оребрения;
- проведении анализа полученных экспериментальных и расчетных данных;
- проектировании новых кольцевых диффузоров для газовых турбин.

Апробация работы. Основные результаты обсуждались и докладывались на:

- XVI Международной научно-технической конференции «Состояние и перспективы развития электротехнологии» (XVI Бенардосовские чтения). – Иваново: ИГЭУ, 2011 г.;
- VII Международной молодежной научной конференции «Гинчуринские чтения».– Казань: КГЭУ, 26 апреля 2012 г.;
- Второй Всероссийской научно-практической конференции «Повышение надежности и эффективности электрических станций и энергетических систем-ЭНЕРГО-2012» . – М.: МЭИ (ТУ), 4-6 июня 2012 г.;
- 19-й Международной науч.-практ. конференции студентов и аспирантов «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика» . – М.: МЭИ (ТУ), март, 2013 г.;
- 10-й Европейской конференции «10th European conference on Turbomachinery fluid dynamics and thermodynamics».– Финляндия: Лаппеэнранта, 16 апреля, 2013г.;
- 7-м Всероссийском форуме студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и инновации в технических университетах». – Санкт-Петербург: СПбГПУ, 17 октября 2013 г.;
- 12-ой международной научно-технической конференции “Power System Engineering Thermodynamics & Fluid Flow”. – Чехия: Пльзень, 18 июня 2013 г.;
- Газодинамическом семинаре кафедры Паровых и газовых турбин МЭИ. – Москва: МЭИ, июнь, 2013 г.;
- Общественном обсуждении работы «Инновационные методы повышения мощности, надежности и экономичности газотурбинных установок и паротурбинных

блоков АЭС», выдвинутой на соискание премии правительства РФ в области науки и техники для молодых ученых за 2013 г. – М.: ОАО ВТИ, октябрь, 2013;

- Заседании кафедры Паровых и газовых турбин. – М.: МЭИ 25 февраля, 2014 г.
- Заседании кафедры Турбины, гидромашины и авиационные двигатели. – СПб.: СПбГПУ, 4 марта, 2014 г.

Публикации. По результатам работы опубликованы 10 научных работ, в том числе 3 публикации в изданиях из перечня рекомендуемого ВАК, 2 статьи в зарубежных изданиях.

Автор защищает:

- результаты исследования воздействия начально неравномерного поля скоростей (закрутка, радиальная неравномерность) потока на вибрационное состояние кольцевых диффузоров с прямолинейными образующими;
- результаты исследования влияния систем внутреннего продольного оребрения на вибрационное состояние диффузоров с оценкой аэродинамического совершенства, так же и в условиях неравномерных потоков рабочей среды.
- методику оценки изменения высоты ребер по длине диффузора с целью предотвращения отрыва потока в диффузорном канале.
- результаты исследования эффективности системы пристеночного перфорированного экранирования стенки диффузора от пульсирующего потока рабочей среды при сохранении на высоком уровне диффузорной способности канала.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения по работе, списка используемой литературы, включающей 132 наименований. Работа изложена на 258 страницах машинописного текста, иллюстрируется 127 рисунками на 89 страницах, содержит список литературы, изложенный на 13 страницах, и содержит 4 таблицы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность тематики диссертации, практическая и научная значимость исследований, кратко дается содержание глав диссертации.

В первой главе содержится обзор литературных данных, где показана высокая роль диффузорных систем в повышении мощности и внутреннего КПД паровых и

газовых турбин. Особое место в главе занимают разделы об исследованиях динамических нагрузок на стенки диффузорных каналов.

Во второй главе дано описание новой установки для исследования характера течения в кольцевых диффузорах при окружной и радиальной неравномерности полей скоростей на входе. Продольный разрез рабочей части установки показан на рисунке 1.

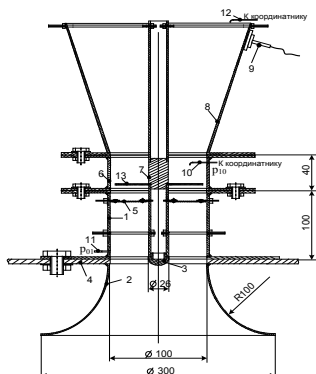


Рисунок 1. Схема рабочей части установки для исследования кольцевых диффузоров

Система измерений позволяла определить коэффициент полных потерь в исследуемых диффузорах, профили скоростей на выходе из диффузора и вибрационные характеристики испытуемых моделей.

Для измерения вибраций использовался специализированный прибор “Агат”, компании “ДИАМЕХ” (Российская Федерация).

В этой же главе содержится подробное описание методик проведения экспериментов, обработки их результатов и определения погрешностей измерения.

Третья глава посвящена комплексному экспериментальному исследованию течения в кольцевых диффузорах на их аэродинамические и вибрационные характеристики при различных геометрических характеристиках диффузоров и начальных полях скоростей.

В качестве критерия аэродинамического совершенства рассматриваемых диффузоров был выбран коэффициент полных потерь $\zeta_{п.}$, мерами виброхарактеристик канала явились средне квадратичные значения виброускорения-а, виброскорости-с и виброперемещения-δ.

На первом этапе исследований рассматривалось влияние геометрических параметров диффузоров и угла закрутки потока в их входном сечении на восстановительную способность диффузоров и их вибрационные характеристики (рисунок 2).

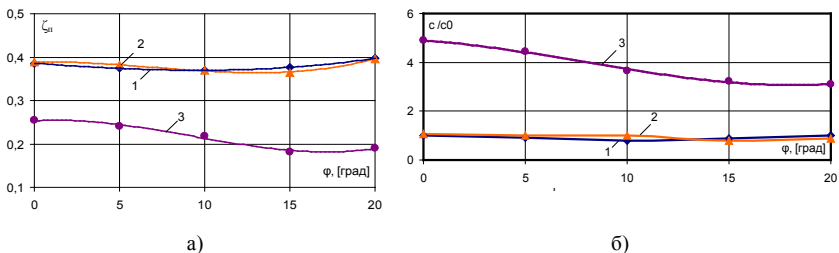


Рисунок 2. Зависимость коэффициента полных потерь ζ_n (а) и относительной виброскорости c/c_0 (б) от закрутки потока на входе для диффузоров 1- $\alpha_1=7^\circ$ $n=2$, 2- $\alpha_1=15^\circ$ $n=2$, 3- $\alpha_1=15^\circ$ $n=4$. * - c_0 -виброскорость для диффузора $\alpha_1=7^\circ$ $n=2$ при закрутке $\varphi=0^\circ$.

Полученные зависимости в отношении коэффициента полных потерь хорошо совпадают с многочисленными экспериментальными данными других исследователей. При осевом входе рабочей среды коэффициент ζ_n для диффузора с углом $\alpha_1=15^\circ$ и степенью расширения $n=4$ меньше, чем для диффузора с $\alpha_1=7^\circ$ и $n=2$ в 1,5 раза, однако, вибрационные характеристики, оказались выше в 5 раз (!).

Появление закрутки потока до $\varphi=15^\circ$ на входе в безотрывных диффузорах (кривые 1 и 2) привело к незначительному (до 4%) снижению коэффициента полных потерь энергии, а в диффузоре с углом 15° и степенью расширения $n=2$ (кривая 3) снижение потерь составило до 8%.

Улучшение условий течения вблизи обтекаемой наружной поверхности моментально сказывается на улучшении вибрационных характеристик во всех рассматриваемых диффузорных каналах (рисунок 2.б).

Исследование влияния радиальной неравномерности потока показало, что высокоскоростная дозвуковая струя на входе у внешней стенки диффузора способствует расширению потока в направлении внешнего обвода, прилипая к внутренней поверхности стенки (эффект Коандэ) и эжектируя основной поток.

Четвертая глава посвящена поиску возможных путей снижения динамических нагрузок на стенки диффузорных каналов в условиях неравномерных начальных полей скоростей.

Среди способов снижения вибрации стенок диффузоров были выбраны два наиболее перспективных с точки зрения технической реализации: установка перфорированных экранов около внешнего обвода и применение продольного внутреннего оребрения.

Оребрению подверглись внутренние поверхности наружных обводов кольцевых диффузоров. Исследовалось три варианта оребрения: клиновидное с ребром клина параллельным оси диффузора (рисунок 3.а), трапецевидное оребрение (рисунок 3.б) и клиновидное оребрение с основанием клина h , соизмеримого с толщиной пограничного слоя (рисунок 3.в).

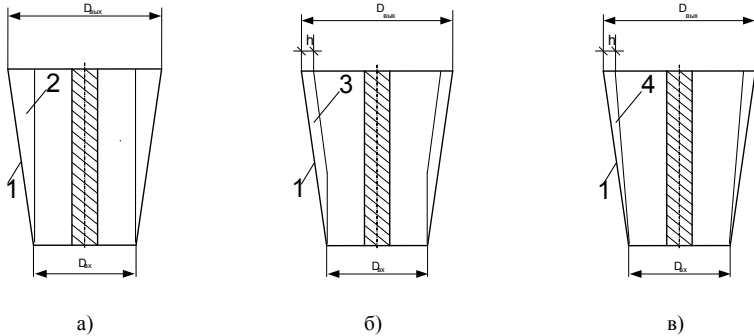


Рисунок 3. Варианты оребрения испытуемых диффузоров, здесь а- клиновидное оребрение, б- трапецевидное, в- пристеночное клиновидное; на рисунках 1- внешний обвод, 2,3,4-ребра.

Полученные результаты исследования (рисунок 4) безотрывных диффузоров (кривые 1 и 2) очевидны, так как введение в проточную часть этих диффузоров системы развитых клиновидных ребер может привести только к увеличению потерь энергии и сокращению эффективной проходной площади (кривые 4 и 5). Однако, такое оребрение может быть полезно с точки зрения повышения динамической надежности кольцевых диффузоров в связи с резким увеличением их конструктивной жесткости.

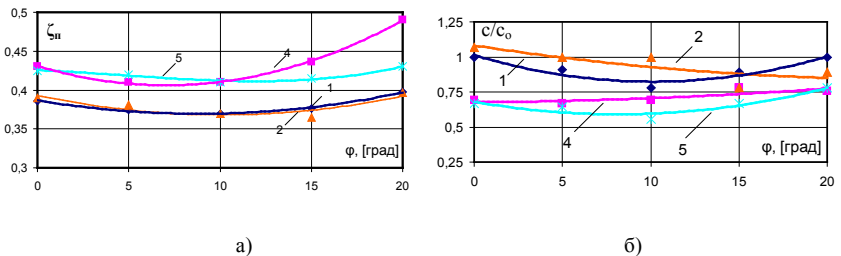


Рисунок 4. Зависимость коэффициента полных потерь ζ_n (а) и относительной виброскорости c/c_0 (б) от закрутки потока на входе для диффузоров 1- $\alpha_1=7^\circ$ $n=2$, 2- $\alpha_1=15^\circ$ $n=2$, 4- $\alpha_1=7^\circ$ $n=2$ оребр. «клин», 2- $\alpha_1=15^\circ$ $n=2$ оребр. «клин».

Весьма важным результатом проведенных исследований оказалось полученное экспериментальным путем доказательство возможности использования продольно оребренных диффузоров при наличии закрутки потока в их входных сечениях, т.к. добавочные потери, связанные с не осевым входом рабочей среды в их проточную часть, оказались малыми.

Совершенно другие результаты были получены при оребрении диффузора, в проточной части которого имеет место развитый нестационарный отрыв потока от обтекаемых стенок (речь идет о диффузоре с углом раскрытия $\alpha_1 = 15^\circ$ и степенью расширения $n=4$).

Результаты испытаний диффузоров с рассматриваемыми системами оребрения при наличии закрутки потока представлены на рисунке 5.

Проведенные эксперименты показывают, что для изменения характера течения в диффузорном канале необходимо воздействовать не на все поле течения рабочей среды, а ограничить зону воздействия только пристеночной областью, где только при использовании пристеночного клиновидного оребрения не произошло увеличения коэффициента полных потерь при осевом входе потока в диффузор, о чем наглядно свидетельствуют приведенные на рисунке 5.а зависимости коэффициента ζ_n от угла закрутки потока для гладкого диффузора (кривая 3) и для диффузора с пристеночным клиновидным оребрением (кривая 8).

Не менее успешно оказалось и решение второй (основной) части проблемы – проблемы резкого снижения вибрации внешнего обвода широкоугольного диффузора, что подтверждают вибрационные испытания (рисунок 5.б).

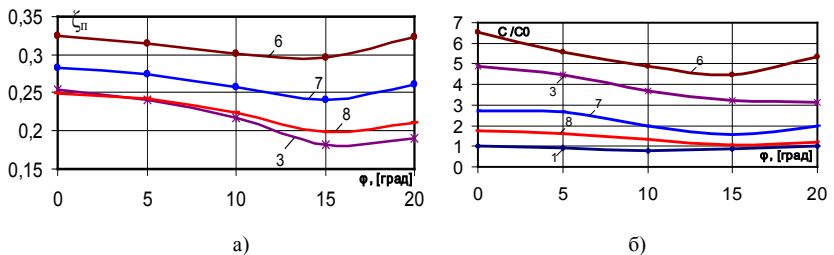


Рисунок 5. Зависимость коэффициента полных потерь ζ_n (а) и относительной виброскорости c/c_0 (б) от закрутки потока на входе для диффузоров 1- $\alpha_1=7^\circ$ $n=2$, 3- $\alpha_1=15^\circ$ $n=4$, 6- $\alpha_1=15^\circ$ $n=4$ оребр. «клин.», 7- $\alpha_1=15^\circ$ $n=4$ оребр. «трапец.», 8- $\alpha_1=15^\circ$ $n=4$ оребр. «прист. клин.»

Пристеночное оребрение обтекаемой поверхности позволило в 2,8 раза снизить величину виброскорости (кривая 8 на рисунке 5.б) по сравнению с этими же величинами неоребрённого диффузора (кривая 3) при осевом входе потока ($\varphi=0^\circ$) и вплотную приблизиться к уровню вибрации в безотрывном семиградусном канале (кривая 1) такой же длины, а при начальной закрутке потока $\varphi=15^\circ$ виброхарактеристики в пределах погрешностей определения оказались одинаковыми.

Исследование влияния радиальной неравномерности потока на аэродинамические и вибрационные характеристики оребренных диффузоров также показало высокую роль пристеночного клиновидного оребрения (рисунок 6).

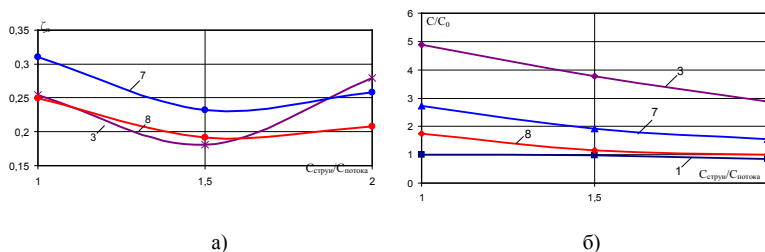


Рисунок 6. Зависимость коэффициента полных потерь ζ_n (а) и относительной виброскорости c/c_0 (б) от начальной радиальной неравномерности на входе для диффузоров $1-\alpha_1=7^\circ$ $n=2$, $3-\alpha_1=15^\circ$ $n=4$, $6-\alpha_1=15^\circ$ $n=4$ оребр. «клин.», $7-\alpha_1=15^\circ$ $n=4$ оребр. «трапец.», $8-\alpha_1=15^\circ$ $n=4$ оребр. «прист. клин.»

Проведенные всесторонние исследования различных форм оребрения широкоугольных диффузоров с большой степенью расширения ($n=4$), показали не только высокую эффективность пристеночного клиновидного оребрения при равномерном поле скоростей, но и возможность эффективного использования таких диффузоров при неравномерном входном поле скоростей, имеющее место за последними ступенями турбомашин.

Наряду с клиновидным оребрением большой интерес представляет и способ гашения пульсаций давления в пристеночной области с помощью пристеночных перфорированных экранов.

На рисунке 7 показана схема установки перфорированного экранадиффузора. Для исключения протечек в зазоре внешняя стенка - перфорированный диффузор ($\delta=5$ мм) использовалась ватная набивка.

Испытания в условиях начальной закрутки (рисунок 8) и радиальной неравномерности поля скоростей так же показали высокую эффективность применения системы экранирования и в целом значения полученных характеристик (коэффициент полных потерь ζ_{Π} , относительная виброскорость c/c_0) оказались близки к ранее рассмотренным характеристикам диффузором с трапецевидным продольным оребрением.

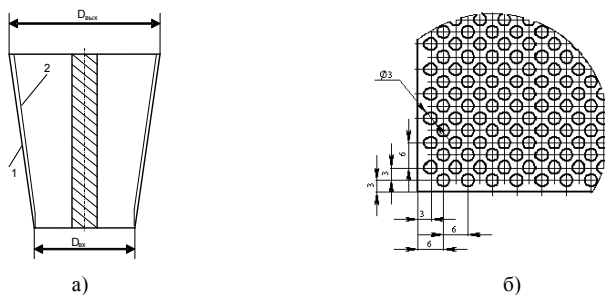


Рисунок 7. Кольцевой диффузор с установленным внутренним перфорированным коническим диффузором (а), где 1- внешняя поверхность, 2 – перфорированный конический диффузор; схема перфорации экрана (б)

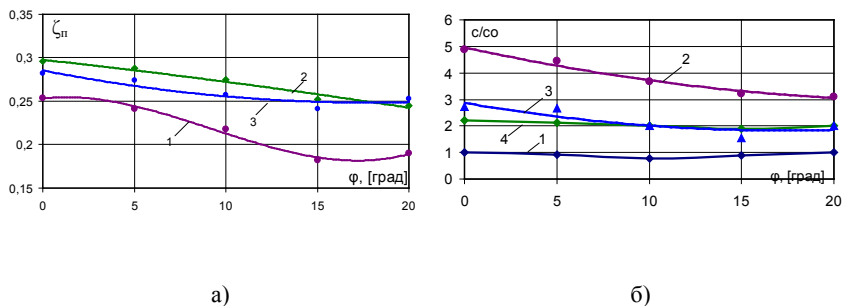


Рисунок 8. Зависимость коэффициента полных потерь ζ_{Π} (а) и относительной виброскорости c/c_0 (б) от закрутки потока на входе для диффузоров 1– $\alpha_1=7^\circ$ $n=2$, 2– $\alpha_1=15^\circ$ $n=4$, 3– $\alpha_1=15^\circ$ $n=4$ +экр., 4 $\alpha_1=15^\circ$ $n=4$ оребр. «трапец.».

Пятая глава посвящена численным исследованиям течений в диффузорах с целью получения картины преобразования энергии по длине проточной части в условиях начальной закрутки потока и начальной радиальной неравномерности.

Особое внимание было уделено верификации полученных интегральных характеристик с результатами физических экспериментов (глава 3 и 4).

Результаты проведенных расчетов также подтвердили высокую эффективность использования пристеночного оребрения внешнего обвода кольцевого диффузора.

Проведенная верификация по коэффициенту полных потерь ζ_{Σ} показала, хорошее совпадение расчетных и экспериментальных данных только на безотрывных диффузорах (погрешность менее 3%), если пограничный слой находится либо в предотрывном состоянии, либо уже имеется локальные отрывные области, то погрешность расчета возрастает до 6÷8%.

Шестая глава посвящена вопросам создания высокоэкономичных и вибронадежных диффузорных патрубков паровых и газовых турбин.

При использовании системы пристеночного клиновидного оребрения, либо при экранировании наружной стенки оказалось возможным использовать диффузоры с углом 15° и степенью расширения 4 без увеличения осевой длины и динамических нагрузок на стенки диффузорного канала, что позволяет увеличить степень восстановления давления в системе отвода газов от газовой турбины с 50% до 75%, обеспечив тем самым увеличение мощности ГТУ на 1,5÷2%

Новая диффузорная система была спроектирована применительно к турбине Mitsubishi M701F4 мощностью 300 МВт.

Основные выводы и результаты работы

1. На основе проведенного физического моделирования установлена прямая связь вибрационного состояния кольцевых диффузоров с характером течения рабочих сред в его проточной части.

2. Введение в кольцевых диффузорах продольного оребрения на внутренней поверхности внешнего обвода существенно меняет картину течения и ведет к более интенсивному нарастанию давления и снижению скорости на первой половине канала, чем при отсутствии оребрения.

3. Введение продольного оребрения в кольцевых диффузорах не привело к качественному изменению зависимости коэффициента полных потерь от угла закрутки потока во входном сечении. Как и в гладких диффузорах при углах закру-

ки $\varphi < 15^\circ$ указанный коэффициент несколько снижается и только при $\varphi > 15^\circ$ наблюдается его заметное увеличение.

4. Радиальная неравномерность, в части высокоскоростной периферийной протечки за последней ступенью, оказывает меньшее влияние на течение в кольцевых диффузорах газовых турбин, в сравнении с радиальными диффузорными патрубками паровых турбин.

5. Весьма эффективным средством защиты стенок диффузоров от динамических нагрузок со стороны движущихся рабочих сред являлась введение в канал перфорированных пристеночных экранов с заполнением зазора между экраном и стенкой диффузора демпфирующим материалом, типа минеральной ваты.

Список основных работ, опубликованных по теме диссертации

1. Зарянкин, А.Е. Пути повышения надежности кольцевых диффузоров газовых турбин / А.Е. Зарянкин, А.Н. Парамонов, Е.Ю. Григорьев // «Состояние и перспективы развития электротехнологии» (XVI Бенардосовские чтения): материалы Междунар. научн.-тех. конференции. – Иваново: ИГЭУ, 2011.–Т.2.–С.60-64.

2. Зарянкин, А.Е. Математическое и физическое моделирование течения в кольцевых диффузорах газовых турбин / А.Е. Зарянкин, Е.Ю. Григорьев // «Энергия -2012»: материалы регион. научн.-тех. конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Иваново: ИГЭУ, 2012.–С.13-15.

3. Зарянкин, А.Е. Аэродинамические способы повышения вибрационной надежности кольцевых диффузоров газовых турбин / А.Е. Зарянкин, Е.Ю. Григорьев, О.А. Трухин // VII Тинчуринские чтения: тезисы Междунар. научной конф. –Казань: КГЭУ, 2012.–Т.3.–С.222-223.

4. Зарянкин, А.Е., Пульсации давления в паровпускном тракте турбины и их влияние на вибрационное состояние регулирующих клапанов/ А.Е. Зарянкин, Е.Ю. Григорьев и др.// Теплоэнергетика.–2012.–№2.–С.21-26.

5. Григорьев, Е.Ю. Новые методы стабилизации течения в плоских, конических и кольцевых диффузорах/ Е.Ю. Григорьев, А.Е. Зарянкин и др.// Вестник ИГЭУ.–2012.–№5.–С. 5-9.

6. Зарянкин, А.Е. Особенности развития течения рабочих сред в конических и кольцевых диффузорах выхлопных патрубков газовых турбин/ А.Е. Зарянкин, А.Н. Парамонов, В.В. Носков, Е.Ю. Григорьев // Повышение надежности и эффективности электрических станций и энергетических систем-ЭНЕРГО-2012: тр. 2-й Всерос. научн.-практ. конф.–М.: Издательский дом МЭИ, 2012.–С. 182-184.

7. Григорьев, Е.Ю. О способах уменьшения вибрации в кольцевых диффузорах газовых турбин / Е.Ю. Григорьев, А.Е. Зарянкин // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: тезисы докладов 19-й Междунар. научн.-практ. конф.– М.: Издательский дом МЭИ, 2013.–Т.4.–С.182.

8. Zaryankin, A.E. New methods of flow stabilization in plane, conical and ring-type diffusers / A.E., Zaryankin, E.Yu. Grigoriev // 10th European conference on Turbomachinery: call for papers. – Финляндия, Лаппеэнранта, 2013.–Т.1.–С.213–217.

9. Zaryankin, A.E. New methods of vibration damping in wide angle diffusers of gas turbines / A.E., Zaryankin, E.Yu. Grigoriev // Works 12 conferences "Power system engineering thermodynamics & fluid flow: Сборник научных трудов. – 2013.–С.108–112.

10. Зарянкин, А.Е. Математическое моделирование течений в угловом быстродействующем запорно-отсечном клапане/ А.Е. Зарянкин, С.В. Савин, Е.Ю. Григорьев// Вестник МЭИ, 2013.–№ 2.–С. 15–21.