

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертацию **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

Актуальность темы.

Газотурбинное двигателестроение – наукоемкая, высокотехнологичная и динамично развивающаяся отрасль мировой экономики, эффективная работа которой имеет существенное значение для обеспечения социально-экономического развития государства. Эффективность силовой установки во многом зависит от совершенства аэродинамики осевого компрессора (ОК).

Поэтому необходимость совершенствования стационарных и транспортных ГТУ, в том числе путем разработки и реализации мероприятий в области проектирования, доводки и модернизации проточной части ОК с применением современных программных комплексов, является крайне актуальной задачей.

Распространенным явлением, которое возникает в осевом компрессоре с увеличением степени повышения давления в лопаточном аппарате, является угловой отрыв потока. Он возникает в области перехода корневой полки в перо лопатки, приводя к загромождению межлопаточного канала и снижению запаса газодинамической устойчивости (ГДУ) компрессора. Для снижения размера углового отрыва в работе выполнена аэродинамическая оптимизация пера лопатки с помощью тангенциального навала. Данный способ позволяет повысить запас ГДУ за счет снижения градиентов давления и увеличения значения касательных напряжений на поверхности лопаток у корневой полки.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций.

В работе использованы современные методы вычислительной газовой динамики, которые позволяют изучить структуру вихрей в угловом отрыве потока и идентифицировать образование данного явления в межлопаточном канале лопаточного венца осевого компрессора. Наличие углового отрыва потока в проточной части осевого компрессора экспериментально подтверждено при испытаниях натурального газотурбинного двигателя.

Оценка новизны и достоверности.

Научная новизна работы определяется тем, что:

Разработана математическая модель, обеспечивающая хорошее совпадение результатов трехмерного моделирования с экспериментальными данными на различных режимах работы компрессора за счет определения коэффициентов вихревой вязкости потока.

Разработаны критерии для идентификации углового отрыва в межлопаточном канале ОК и определении его масштаба при решении задачи численного моделирования, предложен способ определения условий работы венца на основе разработанных критериев идентификации углового отрыва.

Предложен и физически обоснован подход к параметрическому проектированию формы линии совмещения плоских профилей лопаточного венца компрессора в тангенциальном направлении с помощью кривой Безье третьего порядка.

Разработаны критерии для выбора режима работы лопаточного венца, на котором должна проводиться оптимизация формы венца с помощью тангенциального навала.

В первой главе диссертации автором выполнен аналитический обзор научно-технической информации по теме исследования; указаны основные причины образования углового отрыва потока газа в межлопаточных каналах ОК; описаны основные признаки, характеризующие отрыв потока газа как угловой отрыв; выделены способы визуализации потока для идентификации явлений, возникающих в межлопаточных каналах ОК; выполнено описание наиболее распространенных способов оптимизации лопаточных венцов лопаточных аппаратов компрессора с помощью двумерных и трехмерных способов оптимизации.

Во второй главе выполнена верификация численной модели на базе двухступенчатого осевого низкоскоростного компрессора. Разработана математическая модель компрессора, выбраны параметры SST модели турбулентности, влияющие на интенсивность турбулизации потока. Определено, что расхождение расчетных и экспериментальных данных у меридиональных обводов зависит от определения турбулентности потока, которая в свою очередь зависит от определения вязкости потока.

Третья глава посвящена разработке критериев для идентификации углового отрыва потока в межлопаточном канале компрессора и его устранению с помощью тангенциального навала. Выполнено исследование углового отрыва и его распространение в межлопаточном канале направляющих венцов первой и второй ступени ОК. На основании полученных результатов установлены критерии W_{Sa} , отвечающий за отрыв потока от поверхности лопатки и показывающий степень устойчивости лопатки к отрыву и критерий T_{Pa} , позволяющий определить размеры области всего вихревого движения потока, которое в следствии диссипации переходит в отрыв со спинки и загромождает межлопаточный канал. Выполнена оптимизация направляющих венцов первой и второй ступени ОК с применением выявленных критериев, доказано, что применение

тангенциального навала позволяет переместить угловой отрыв из области у меридионального обвода в среднюю часть межлопаточного канала.

В четвертой главе выполнен CFD расчет многоступенчатого ОК низкого давления ГТУ модели ДН80Л1 и оптимизация лопаточного аппарата направляющего венца второй ступени с последующей проверкой результатов на натурном ОК. Выполнены нестационарные CFD расчеты, показавшие, что угловой отрыв является устойчивой вихревой структурой, которая имеет свойство распространяться на последующие венцы, вызывая тем самым нестационарность потока по окружности перед венцами. В результате CFD оптимизации поворотного направляющего аппарата второй ступени было установлено, что наиболее эффективным способом для снижения размеров углового отрыва будет применение прикрытия лопатки на 5 градусов. Это позволит снизить размер области углового отрыва в 3 раза. В условиях эксплуатации ООО "Газпром Трансгаз Ухта" данные выводы были полностью подтверждены.

Основные положения диссертации нашли отражение в публикациях автора, а также были доложены на научно-практических конференциях.

Замечания по диссертационной работе в целом.

1. В работе рассмотрено исследование влияние изменения угла установки поворотного направляющего аппарата второй ступени в сторону прикрытия (Варианты: №1- $d\beta=-3^\circ$; №2- $d\beta=-5^\circ$; №3- $d\beta=-7^\circ$) на срывные явления в ступени. При прикрытии НА2 на 7 градусов происходит дальнейшее снижение области углового отрыва на периферии (относительно прикрытия на 5°), но расход воздуха снижается на 2% относительно исходного варианта, что недопустимо, так как это влияет на работу турбины, снижая ее полезную работу. Тем не менее, компенсировать снижение расхода воздуха можно за

счет раскрытия входного направляющего аппарата или направляющего аппарата первой ступени. Тем самым, срывные явления со второй ступени могут быть устранены без потери интегральных параметров компрессора.

2. Изменение угла установки поворотного направляющего аппарата на одном из режимов приведет к необходимости изменения программы регулирования компрессора. В работе не представлена оценка изменения интегральных напорных характеристик компрессора от прикрытия НА2 на других режимах работы.

Впрочем, отмеченные недостатки не снижают высокого качества исследования, они не влияют на главные теоретические и практические результаты диссертации, описанные выше. Результаты оригинальны, обладают научной новизной и практически значимы

Заключение. Диссертационная работа Серкова Сергея Александровича является законченным научно-квалификационным трудом, выполненным автором самостоятельно на высоком научном уровне. В работе приведены научные результаты, позволяющие квалифицировать ее как разработку научно обоснованных технических решений для области газотурбостроения, представляющих собой завершенную работу на актуальную тему. Работа базируется на достаточном числе исходных данных, примеров и расчетов. Она написана доходчиво, грамотно и аккуратно оформлена. В заключение каждой главы сделаны четкие выводы. Выводы и рекомендации обоснованы.

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

Диссертационная работа отвечает требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Серков Сергей Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по

специальности 05.04.12 – «Турбомашины и комбинированные турбоустановки».

Официальный оппонент

Начальник бригады отдела
расчетно-экспериментальных работ
по компрессорам
АО «ОДК-Авиадвигатель»,

Плотников Андрей
Игоревич

20.05.19

кандидат технических наук
по специальности 05.07.05
Тепловые, электроракетные
двигатели и энергетические
установки летательных аппаратов

614990, Россия, г. Пермь
Комсомольский проспект, д. 93,
корп. 61,
+7 (342) 240-97-86
Plotnikov-ai@avid.ru

Подпись официального оппонента
заверяю



Е.Б. Масленникова
начальник отдела
АО «ОДК-Авиадвигатель»

