

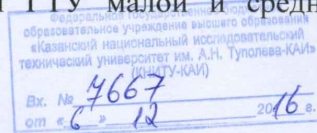
## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации А.В. Гимбицкого «Тепловая защита экранированием от горячих элементов корпуса газотурбинных установок при пористом вдуве», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальностям 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника и 05.07.05 – Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов

Диссертация А.В. Гамбицкого посвящена решению актуальной задачи тепловой защиты наружного корпуса – одного из теплонапряжённых узлов газотурбинных двигателей (ГТД) и газотурбинных установок (ГТУ) различного назначения. Их техническое совершенствование осуществляется в основном путем постоянного повышения начальной температуры газа перед турбиной (следовательно, и по всей длине проточной части турбины) и увеличения степени повышения давления рабочего тела в цикле наряду с совершенствованием материалов и технологии изготовления наиболее нагретых и высоконагруженных деталей и узлов, включающих корпуса.

Создание перспективных ГТУ и комбинированных установок различного назначения связывают с применением авиационных ГТД. За последние 20 лет в энергомашиностроении значительно более широкое, чем ранее, получило использование опыта проектирования и создания авиационных и судовых двигателей; на базе этих двигателей создаются энергетические газотурбинные и комбинированные установки с весьма высокими показателями. Актуальность и важность оценки возможностей применения авиационных ГТД для создания энергетических, приводных и транспортных установок обуславливается, в частности, реализацией задачи конверсии объектов авиационной техники и предприятий, занимающихся выпуском этой продукции.

Одно из важных отличий конвертированных высокотемпературных ГТД для наземного применения от исходных (базовых) авиационных двигателей – отсутствие естественного охлаждения корпуса двигателя набегающим потоком воздуха при полете самолета. Действительно, конвертированные двигатели обычно выполняются в блочно-контейнерном варианте, размещаются в тепло- и звукоизолирующих кожухах, в тесных замкнутых пространствах отсеков (контейнер-боксах) и машинных отделений. Для вентиляции подобных замкнутых пространств и охлаждения наружных корпусов ГТУ применяются специальные (не всегда эффективные) системы охлаждения корпусов воздухом, усложняющие конструкции ГТУ и требующие определенных затрат мощности самой ГТУ. (Отметим, что подобная проблема относится к энергетическим ГТУ малой и средней



мощности, особенно серьезно проявляется в транспортных ГТД, прежде всего в судовых и локомотивных, однако фактически отсутствует для мощных энергетических ГТУ и ПГУ на электростанциях).

Значительно более эффективным является внутреннее воздушное охлаждение корпусов. Системы охлаждения лопаток, дисков, камер сгорания, внутренних корпусов газовых турбин изучены достаточно полно, методы их расчета и проектирования позволяют создавать весьма надежные конструкции, и этому в значительной степени способствуют исследования научной школы КАИ под руководством профессора В.И. Локая. Вместе с тем, подходы к созданию эффективной системы тепловой защиты горячих элементов корпуса турбины изучены недостаточно полно, и потому выполненное А.В. Гамбицким исследование отличается несомненной научной новизной.

Диссертантом для исследования была выбрана система воздушного охлаждения модели корпуса с применением пористого экрана и с продувкой через него охлаждающего воздуха, создающую завесу, с целью защиты наружного (охлаждаемого) корпуса. Выбор такого охлаждения обоснован диссертантом тем, что пористое охлаждение является наиболее эффективным (по сравнению с конвективным, пленочным, конвективно-пленочным) способом охлаждения.

Подобного рода исследования обоснованно являются эмпирическими, и основная заслуга автора заключается в проведении исследований указанного охлаждения на специально спроектированном и созданном универсальном стенде для изучения процессов теплообмена и эффективности тепловой защиты в широком диапазоне изменения определяющих параметров.

Тщательно выполненное термометрирование рабочего участка стенда, примененная система измерений, обработка и обобщение результатов экспериментов с использованием законов термогазодинамики и теплообмена, методов теории подобия и размерностей с расчетом погрешностей измерения убеждают в достоверности полученных результатов.

Диссертантом получены новые и практически полезные результаты. К научной новизне в первую очередь относятся эмпирические зависимости коэффициентов теплоотдачи и эффективности тепловой защиты от определяющих факторов: расхода воздуха, толщины воздушной прослойки и температурного фактора, позволяющие прогнозировать температурное состояние экрана и наружной оболочки. Помимо обычных теплофизических зависимостей критерия Нуссельта от числа Рейнольдса автором предложены



параметры эффективности тепловой защиты экрана и оболочки, позволяющие производить сравнительный анализ эффективности различных конструктивных схем.

Следует отметить, что эмпирические зависимости получены в достаточно широком диапазоне изменения чисел Рейнольдса, геометрических и режимных параметров, что и определяет их практическую применимость при проектировании систем охлаждения корпусов газовых турбин.

Отдельные результаты диссертационного исследования и их обобщение опубликованы в очень большом количестве (33) печатных работ, из которых 6 статей напечатаны в рекомендованных ВАК журналах.

По материалам автореферата имеются следующие замечания.

1. Для исследования диссертантом была выбрана система воздушного охлаждения модели корпуса с применением пористого экрана. Безусловно, теоретически пористое охлаждение является наиболее эффективным теплофизическим способом, позволяющим обеспечить большую глубину охлаждения при малом относительном расходе охлаждающего воздуха. Однако общеизвестным недостатком его является возможность засорения пористых элементов (экранов корпусов, оболочек лопаток и т.д.) различными включениями, содержащимися в охлаждающем воздухе, приводящими к местным перегревам элементов и выходу из строя всей конструкции. Конечно, эту важную проблему можно частично решить путем фильтрации воздуха на входе, но при этом эффективность охлаждения (в широком смысле) заметно снизится. Было бы желательным проведение экспериментов с более надежными в эксплуатационном отношении способами охлаждения, хотя и менее эффективными в теплофизическом отношении, например, пленочным или с помощью составных многослойных проницаемых материалов, достаточно полно исследованных в КАИ. Созданный соискателем стенд вполне допускает возможность проведения таких экспериментов.

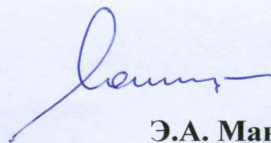
2. Постановка сформулированной диссертантом общей задачи обеспечения эффективной тепловой защиты экранированием от горячих элементов корпуса ГТУ, по нашему мнению, во многом аналогична задаче охлаждения стенок жаровой трубы камеры сгорания любой конструкции (трубчатой, кольцевой, трубчато-кольцевой): жаровую трубу можно представить как сосуд с окружающим его кожухом; в сосуде протекает горячий газ, а в кольцевом пространстве между сосудом и кожухом – воздух. Жаровая труба нагревается изнутри излучением и конвекцией от горячих газов в её полости и охлаждается посредством излучения её стенок на внешний

кожух и конвекции к воздуху, протекающему снаружи её. В связи с этим было бы желательно провести сравнение предложенных в диссертации методов расчета и полученных результатов экспериментов с теми материалами, которые подробно изложены, например, к книге А. Лефевра «Процессы в камерах сгорания ГТД» (пер. с англ. – М.: Мир, 1986. – 566 с.). Кстати, в ней показаны физические модели, приведены методы расчета и пленочного, и пористого охлаждения стенок жаровой трубы камеры сгорания.

Эти замечания, хотя и представляются важными, всё же на фоне выполненного соискателем исследования носят характер пожеланий на будущее. Выполненное А.В. Гимбицким исследование отличается актуальностью, определенной научной новизной и практической значимостью. Все требования к кандидатской диссертации как к квалификационному труду выполнены полностью, она соответствует заявленным специальностям 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника и 05.07.05 – Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов.

На основании изложенного считаю, что соискатель Артур Вячеславович Гимбицкий заслуживает присуждения искомой ученой степени кандидата технических наук по указанным специальностям.

Доктор технических наук, профессор,  
профессор кафедры «Газотурбинные и  
нетрадиционные энергоустановки»  
МГТУ им. Н.Э. Баумана, академик  
Российской академии образования



Э.А. Манушин

23.11.2016г.

Подпись Э.А. Манушина заверяю



М. НАЧАЛЬНИКА  
УПРАВЛЕНИЯ КАДРОВ  
РОВА О.В.  
8-499-263-60-48

Манушин Эдуард Анатольевич, 107005 Россия, г. Москва  
ул. 2-я Бауманская, д. 5, ФГБОУ ВО МГТУ им. Н.Э. Баумана  
turboch@power.vnipti.ru, Тел.: 8-499-265-78-42