

ОТЗЫВ **официального оппонента**

на диссертационную работу **Тищенко Виктора Александровича**
"РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ПАРАМЕТРОВ ЖИДКОЙ ФАЗЫ ВЛАЖНО ПАРОВОГО ПОТОКА В
ЭЛЕМЕНТАХ ПРОТОЧНЫХ ЧАСТЕЙ ТУРБОМАШИН", представленную на
соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности
05.04.12 – Турбомашины и комбинированные турбоустановки

Рассматриваемая работа посвящена разработке и апробации экспериментально-расчетной методики определения дисперсного состава жидкой фазы и характеристик течения двухфазной среды в соплах и сопловых решетках паротурбинных установок.

Проблемы течения влажного пара в турбомашинах и связанные с этим проблемы существенного ухудшения их эффективности и надежности известны очень давно. Проблемы эти исследовались и продолжают исследоваться огромным количеством ученых и инженеров, как в России, так и за рубежом. Тем не менее, до настоящего времени не существует достаточно полной теории и комплексной модели парокапельной среды в каналах сложной формы при течении с фазовыми переходами, взаимодействием капель с потоком, друг с другом, стенками канала, образованием и разрушением пленок жидкости на стенках, в кромочных следах лопаточного аппарата и т.д. Таким образом, поставленные в диссертационной работе цели и задачи, безусловно, являются актуальными и востребованными в энергомашиностроении.

Для достижения поставленных целей создана экспериментальная установка, оснащенная современным измерительным оборудованием, программная часть которого доработана и модифицирована автором. Применение современных методов вычислительной газодинамики, современных программных пакетов, вместе с экспериментальными исследованиями позволили автору получить оригинальный инструмент исследователя, применение которого значительно расширяет возможности получения новых знаний. Полученные в работе новые данные необходимы для проектирования и оценки эффективности систем влагоудаления, а также разрушения крупнодисперсной влаги в проточных частях паровых турбин.

В первой главе диссертации представлен обзор литературных источников по теме работы. Следует отметить большое количество (139) как отечествен-

ных, так и зарубежных источников, на которые ссылается автор. Рассмотрены известные на сегодня экспериментальные методы определения характеристик паракапельного потока, методы определения его дисперсного состава, скоростей капель, коэффициента скольжения, влияния режима течения и формы канала на жидкую фазу в потоке. Большое внимание уделено обзору работ описывающих физику процессов при движении капель в потоке: сил действующих на капли, их разрушение, коагуляцию, конденсацию пара на капле, образование и разрушение пленок жидкости на стенках канала и т.п. Автором сделан также обзор современных методов компьютерного моделирования двухфазных потоков. Показано, что на данный момент не существует чисто аналитических достоверных методик моделирования течений с разнодисперсной влагой в каналах сложной формы.

На основании приведенного обзора и анализа литературных источников автор формулирует основные задачи исследования: разработать, верифицировать и опробовать экспериментально-расчетную методику исследования характеристик паракапельного потока в сопловых каналах и решетках.

Вторая глава диссертации посвящена описанию созданного экспериментального стенда, разработанным методикам исследований, измерительной системе и исследованным моделям. Создана уникальная для России установка на базе системы лазерной диагностики с высокоскоростной видеокамерой и специализированного программного обеспечения. Подробно описаны исследованные рабочие модели, области измерений параметров, схемы экспериментов. Для верификации результатов измерения размеров капель предусмотрено использование независимого альтернативного метода инерционного осаждения. Следует отметить большие потенциальные возможности созданной экспериментальной установки в вопросах изучения двухфазных потоков.

Третья глава работы посвящена разработке методики бесконтактного определения средних размеров крупнодисперсной влаги в потоке. Приведены основные модельные уравнения и допущения, сделанные при их получении. Описан разработанный алгоритм экспериментально-расчетного определения размеров капель влаги вдоль траектории их движения. При этом данные о скоростном поле паровой фазы получаются с помощью моделирования в CFD коде Ansys Fluent, а жидкой фазы – экспериментально. Особенности исследуемых потоков, а именно, существенно разнодисперсный состав жидкой фазы, высокая влажность, наличие пленок жидкости на стенках канала, потребовал разработки оригинальной методики компьютерной постобработки экспериментальных данных для корректной интерпретации результатов, с чем автор

работы успешно справился. Потребовалась также модификация математической модели двухфазного потока, а также модели турбулентности кода Ansys Fluent. Проведенная верификация разработанной расчетной методики для течения влажного пара в плоском суживающемся сопле и сопле Лаваля дала очень хорошее соответствие с экспериментами, что доказывает ее состоятельность.

В четвертой главе диссертации рассмотрено влияние режимных параметров на характеристики жидкой фазы за сопловой решеткой турбины. Рассматриваются особенности распределения параметров крупной влаги в осевом межлопаточном зазоре ступени турбины. Исследованы параметры крупнодисперсной влаги за сопловой решеткой при изменении начальной влажности пара и постоянных размерах капель на входе. Исследовано и проанализировано влияние плотности несущей среды (пара) на характеристики жидкой фазы. Для исследуемой сопловой решетки получены обобщенные характеристики движения крупнодисперсной влаги в кромочном следе, которые будут полезны при проектировании последних ступеней конденсационных турбин.

Обоснованность приведенных в работе данных подтверждена тестовыми испытаниями и корреляцией полученных результатов с результатами других исследователей, а также применением современных аттестованных измерительных устройств и апробированных методик измерений.

Таким образом, в представленной диссертации создана уникальная экспериментальная установка и опробована разработанная автором методика определения характеристик течения с крупнодисперсной влагой. И хотя сложность поставленной автором задачи не позволяет пока получить абсолютно универсальную методику, но созданный инструментарий позволяет уже сегодня получать ценные экспериментально-расчетные данные, существенно расширяющие понимание процессов, происходящих во влажнопаровых потоках.

По работе можно сделать следующие замечания:

1. Разработанная методика способна определять характеристики только плоского (двумерного) двухфазного потока. Как известно, реальные потоки в турбомашинах всегда трехмерны. Это существенно ограничивает применимость методики для натуральных установок.
2. В теме диссертационной работы заявлена разработка методики для элементов проточных частей турбомашин, фактически же рассматриваются только неподвижные сопловые каналы и решетки. Вращающиеся рабочие лопатки, наиболее страдающие от крупнодисперсной влаги и фор-

мирующие под действием центробежных и аэродинамических сил неравномерный в пространстве двухфазный поток в диссертационной работе не рассматриваются.

3. Методика работоспособна только при наличии ускорения (торможения) капель влаги, что в локальных областях потока может отсутствовать.
4. Методика опробована до влажности потока 8,4%, в ЦНД современных турбин влажность может достигать 12...15% и более. Хотя следует отметить, что полученные автором экспериментальные данные с использованием оптического метода при влажности 8,4% можно считать достижением.

Автору также переданы замечания по тексту рассматриваемой диссертации о небольшом количестве опечаток и неточностей в терминологии.

Сделанные замечания не являются принципиальными и не снижают практическую значимость представленной работы, выполненной на высоком научном уровне. Работа является законченным исследованием и удовлетворяет требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Результаты, полученные в диссертации, отражены в достаточном числе публикаций. Содержание автореферата полностью соответствует тексту рассматриваемой работы.

На основании изложенного считаю, что работа **Тищенко В.А.** соответствует критериям, установленным ВАК РФ, а автору может быть присвоена ученая степень кандидата технических наук по специальности 05.04.12 "Турбомашины и комбинированные турбоустановки".

Официальный оппонент

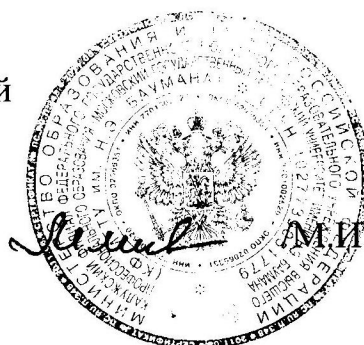
Зав. кафедрой тепловых двигателей
и теплофизики Калужского филиала
ФГБОУ ВПО МГТУ им. Н.Э. Баумана,
доцент, к.т.н.
(jjin@bmstu-kaluga.ru, тел.(084-22)79-78-08)



30.05.2014

/А.А. Жинов/

Подпись зав. кафедрой тепловых двигателей
и теплофизики А.А. Жинова удостоверяю
Ученый секретарь Калужского филиала
ФГБОУ ВПО МГТУ им. Н.Э. Баумана



М.И. Морозенко/