

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 222.001.01,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ОАО «ВСЕРОССИЙСКИЙ ДВАЖДЫ ОРДЕНА  
ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ НАУЧНО-  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ», ПО ДИССЕРТАЦИИ НА  
СОИСКАНИЕ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 16 мая 2019 года Протокол № 5  
о присуждении Кондратьеву Антону Викторовичу, гражданину РФ, учёной  
степени кандидата технических наук.

Диссертация «Расчетно-экспериментальное исследование  
теплогидравлических характеристик воздушных конденсаторов паровых  
турбин» по специальности 05.04.12 «Турбомашины и комбинированные  
турбоустановки» принята к защите в виде рукописи 11 марта 2019 года  
протокол № 2 диссертационным советом Д 222.001.01, созданным на базе  
Открытого акционерного общества «Всероссийский дважды ордена Трудового  
Красного Знамени Теплотехнический научно-исследовательский институт»  
(ОАО «ВТИ»), адрес: 115280, г. Москва, Автозаводская, 14 (приказ №156/нк от  
01.04.2013 г. с изменениями приказ 304/нк от 22.03.2018 г.), (самостоятельная  
организация).

Соискатель Кондратьев Антон Викторович, 1990 г. рождения, в 2013 году  
окончил ФГБОУ ВО МГТУ им. Н.Э.Баумана, в 2017 году окончил аспирантуру  
Калужского филиала федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего образования «Московский  
государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный  
исследовательский университет)», (Минобрнауки РФ), работает в должности  
инженера-испытателя I категории в закрытом акционерном обществе Научно-  
производственное внедренческое предприятие «Турбокон» (ЗАО НПВП  
«Турбокон) (самостоятельная организация).

Диссертация выполнена на кафедре МЗ-КФ «Тепловые двигатели и турбомашин» Калужского филиала федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана) и в Межведомственной научно-исследовательской лаборатории ЗАО НПВП «Турбоконт».

**Научный руководитель** – доктор технических наук, профессор Мильман Олег Ошеревич, директор по науке ЗАО НПВП «Турбоконт», профессор кафедры МЗ-КФ «тепловые двигатели и гидромашин» Калужского филиала МГТУ им. Н.Э.Баумана.

**Научный консультант** – кандидат технических наук, доцент, Жинов Андрей Александрович, заведующий кафедрой МЗ-КФ «тепловые двигатели и гидромашин» Калужского филиала МГТУ им. Н.Э.Баумана.

**Официальные оппоненты:**

1. **Гаряев Андрей Борисович**, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ» (ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»), заведующий кафедрой «Тепломассообменные процессы и установки».

2. **Некрасов Дмитрий Анатольевич**, кандидат технических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования «Московский политехнический университет», доцент кафедры «ХимБиоТех».

**дали положительные отзывы на диссертацию.**

**Ведущая организация** – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук (ИТ СО РАН) . г. Новосибирск в своём положительном отзыве, подписанном заведующим лабораторией 6.1 ИТ СО РАН, академиком РАН, д.ф.-м.н. Алексеенко Сергеем Владимировичем, главным научным сотрудником лаборатории 6.1 ИТ СО РАН, д.т.н.

Прибатуриным Николаем Алексеевичем, указала, что диссертация Кондратьева А.В «Расчётно-экспериментальные исследования теплогидравлических характеристик воздушных конденсаторов паровых турбин» соответствует требованиям ВАК РФ, установленным «Положением о присуждении ученых степеней» (пункт 9) для диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор Кондратьев Антон Викторович заслуживает присвоения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.04.12 – «Турбомашин и комбинированные турбоустановки».

Соискатель имеет 16 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 5 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 5 работ. Авторский вклад соискателя заключается в получении экспериментальных данных, их обработке, анализе, интерпретации и обобщении. Общий объём 4,5 печатных листа.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

**Федоров, В.А.** Результаты экспериментальных исследований теплогидравлических процессов при конденсации перегретого пара внутри наклонной трубы / В.А. Федоров, О.О. Мильман, Б.А. Шифрин, П.А. Ананьев, С.Н. Дунаев, А.В. Кондратьев, А.В. Птахин // Теплофизика высоких температур. – 2014. – Т. 52. – № 2. – С. 329–332.

**Федоров, В.А.** Результаты экспериментальных исследований характеристик воздушных конденсаторов паротурбинных установок / В.А. Федоров, О.О. Мильман, Н.В. Колесников, П.А. Ананьев, С.Н. Дунаев, А.М. Михальков, А.В. Мосин, А.В. Кондратьев // Теплоэнергетика. – 2013. – № 2. – С.35–41.

**Мильман, О.О.** Особенности конденсации пара внутри труб и каналов / О.О. Мильман, В.А. Федоров, А.В. Кондратьев, А.В. Птахин // Теплоэнергетика. – 2015. – № 4. – С.71–81.

**Мильман, О.О.** Переменные режимы работы воздушно-конденсационной установки / О.О. Мильман, А.В. Кондратьев, А.В. Птахин, С.Н. Дунаев, А.В.

Кириухин // Теплоэнергетика. – 2016. – №5. – С. 7–13.

**Федоров, В.А.** Разработка, изготовление и испытание типовой натурной секции высокоэффективного воздушного конденсатора / В.А. Федоров, О.О. Мильман, А.В. Кирюхин, С.Н. Дунаев, Б.А. Шифрин, А.В. Кондратьев, А.В. Птахин, П.А. Ананьев, А.Ю. Калинин, Е.А. Лошкарева // Известия Российской академии наук. Энергетика. – 2015. – № 6. – С.102–112.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы: отзыв ведущей организации – 1, отзыв официального оппонента – 2, отзывы на автореферат – 8.

Всего получено 11 отзывов, в том числе: ВУЗы (5), НИИ (3), энергомашиностроительные предприятия (1), энергетические компании (2).

Все отзывы положительные. Во всех отзывах отмечается актуальность работы, ее научная новизна и практическая значимость; представленный материал рассматривается как законченная квалификационная работа, выполненная на высоком профессиональном уровне. В отзывах имеются следующие замечания:

**1. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук (ИТ СО РАН) (Ведущая организация)**

1. Предложенные зависимости потерь давления при различных схемах движения теплоносителей были получены на стенде типа «труба в трубе» с водяной рубашкой охлаждения, в то время как воздушные конденсаторы охлаждаются атмосферным воздухом, имеющим значительно более низкий коэффициент теплоотдачи, чем вода.

2. Указано, что влияние схемы движения теплоносителей зависит от степени сухости пара на выходе из теплообменных труб конденсатора и

величины тепловой единицы  $NTU = \frac{k \cdot F}{C_{\text{охл}} \cdot G_{\text{охл}}}$ , но нет информации о типичных значениях этой величины для воздушных конденсаторов.

3. Отсутствуют данные о конкретных измеренных значениях потерь давления конденсирующегося пара при различных схемах движения теплоносителей. Не находилась ли разница между ними в пределах погрешности измерений?

4. Заключение номер 6 в работе, скорее не вывод, а констатация факта обработки данных. С таким же успехом можно было привести и другой вид обработки.

5. Также в разделе научная новизна следовало бы более детально расшифровать термин «Зафиксирован перегрев пара на выходе из трубы». О чём тут идёт речь (то ли в зависимости от угла наклона, то ли в зависимости от схемы движения, то ли от влияния параметров течения пара и жидкости) непонятно.

**2. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ» (ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»), Горяев Андрей Борисович (официальный оппонент)**

1. В главе 1 «Обзор литературных источников и постановка задачи исследования» автор посвятил параграф вопросам конденсации пара из паровоздушных смесей, в то время как в исследованиях рассматривалась конденсация чистого пара.

2. На странице 42 во второй части формулы 2.3 для определения скорости пара на выходе в главе 1 допущена ошибка.

3. При выводе соотношений для определения перепада давления по трубке не учитывалось изменение проходного сечения по пару при нарастании толщины пленки конденсата, которое приводит к росту скорости пара и существенному росту перепада давления.

4. При выводе соотношений для определения перепада давления по трубке не учитывалось изменение коэффициента теплопередачи со стороны пара. Это оправдано для воздушных конденсаторов, в которых коэффициент теплопередачи определяется коэффициентом теплоотдачи со стороны воздуха, но может привести к ошибкам при оценке перепада давления в конденсаторе с водяным охлаждением, который исследовался в экспериментах.

5. Не указано количество проведенных измерений перепада давления на макетах воздушных конденсаторов, что вызывает сомнения в результате его измерения при расходе пара на трубку ( $8,4 \cdot 10^{-4}$  кг/с) (таблица 3.1 на стр.61).

**3. Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования «Московский политехнический университет», Некрасов Дмитрий Анатольевич (официальный оппонент)**

1. На теплогидравлические процессы при движении парожидкостных потоков при конденсации пара в трубах существенное влияние оказывает угол наклона труб относительно горизонта. Изменяющийся по длине трубы режим течения двухфазного потока характеризуется существенной неоднородностью по внутренней поверхности трубы интенсивности конвективного теплообмена. При этом локальное по длине трубы распределение значений коэффициента теплоотдачи влияет на характер изменения расхода пара по длине трубы, и, следовательно, на потерю давления. В связи с этим, следовало бы более детально обосновать выбор угла наклона рабочего участка.

2. В главе 2 приводится пример расчета, без пояснения исходных данных, с выводом о турбулентном течении пара на начальном участке трубы, что требует дополнительного обоснования.

**4. ПАО «Силовые машины», Главный специалист по паровым турбинам, д.т.н. Гаев Валерий Дмитриевич**

1. По тексту принята не совсем удачная терминология. Так на стр. 7 автореферата отмечено: «...процесс конденсации перегретого и насыщенного пара...». Перегретый пар не может конденсироваться. Конденсация начинается только при снижении параметром до насыщения.

2. Несмотря на проведенные достаточно обширные расчетно-экспериментальные исследования в диссертации отсутствуют рекомендации по практической целесообразности использования тех или иных схем при проектировании конкретных воздушных конденсаторов.

**5. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет» (НИЯУ МИФИ)**, профессор кафедры теплофизики НИЯУ МИФИ, д.т.н. Митрофанова Ольга Викторовна

1. В диссертационной работе было экспериментально подтверждено, что потери давления конденсирующегося пара при противотоке всегда больше таковых при прямотоке. Вместе с тем, физического объяснения данного явления при анализе полученных результатов в автореферате не приводится.

2. Указано, что влияние схемы движения теплоносителей зависит от параметра  $NTU = \frac{k \cdot F}{C_{охл} \cdot G_{охл}}$  и доли сконденсировавшегося в трубах пара, но не указано, в каких пределах находятся значения этих величин, характерные для эксплуатируемых и проектируемых воздушных конденсаторов.

**6. ИТ СО РАН им. С.С. Кутателадзе**, старший научный сотрудник лаб. 6.1 «Проблем тепломассопереноса», к.ф-м.н. Алексеев Максим Валерьевич

1. Из автореферата не ясно, какое время установления квазистационарного режима течения пленки при конденсации пара в трубе? Данное время существенно важно для пуско-остановочных режимов работы конденсаторов. Хорошо бы дать экспериментальное значение или теоретическую оценку выхода конденсатора на стационарный режим.

2. Существует множество одномерных теплогидравлических кодов (например в атомной энергетике) с помощью которых возможен расчет конденсаторов, как для прямоточного, так и для противоточного охлаждения. В чём преимущество теоретической одномерной аналитической модели, созданной автором, в сравнении с прямым одномерным численным моделированием данной задачи в теплогидравлическом коде?

**7. ПАО «Мосэнерго»**, начальник Инженерного управления, к.т.н. Голов Павел Валерьевич.

1. В автореферате приводится соотношение потерь давления пара при прямоточной и противоточной схемах движения теплоносителей. А как в эту схему вписывается перекрёстный ток, который как раз наиболее характерен для воздушных конденсаторов?

**8. ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»**, профессор кафедры «Турбины и двигатели», д.т.н., проф. Аронсон Константин Эрленович.

1. Как влияет перегрев пара на коэффициент теплоотдачи при его конденсации? В чём различие результатов автора с данными Кутателадзе по этому вопросу?

2. При наличии перегрева у конденсирующегося пара имеется ли зона поверхности теплообмена, на которой происходит только конвективный теплообмен?

3. Учитывается ли при расчёте газодинамического сопротивления при конденсации пара внутри труб изменение давления, связанное с понижением температуры пара? На сколько может измениться давление внутри трубок при учёте восстановления давления, связанного с охлаждением пара и его конденсацией?

**9. ООО «Интер РАО – Инжиниринг»**, главный инженер Тарасов Владимир Михайлович.

1. Из автореферата не в полной мере ясны граничные условия применения предложенных методик при расчётах реальных воздушных конденсационных установок при различных режимах работы.

2. В автореферате присутствуют неточности и опечатки. Например, обозначенные расходы пара на рисунке 1 не соответствуют подрисуночным подписям и выражению (1). На титульном листе в теме диссертационной работы допущена ошибка.

**10. ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»**, старший научный сотрудник, профессор кафедры инженерной теплофизики, д.т.н., Яньков Георгий Глебович

1. Что понимает автор под словосочетанием «острый эксперимент» (с.15)?

2. К сожалению, многие символы не поясняются в тексте, что затрудняет знакомство с работой. В частности, что обозначает символ  $G_1$ ? Если это расход пара на входе, то почему на рис. 1 расход на входе обозначен как  $G_0$ ? Чем отличаются величины  $\overline{\vartheta}_2$  и  $\vartheta_2$ ?

3. Зачем на полученный в эксперименте перепад давления вводить поправку на восстановление давления вследствие торможения потока пара? То, что померили, то и есть истинный перепад статического давления с учётом местных сопротивлений и восстановления давления, который и нужен на практике.

4. Вопрос о наличии неконденсирующихся газов в автореферате не обсуждается. Они действительно отсутствуют?

**11. ООО «Геотерм-М»**, Генеральный директор, д.т.н., проф. Томаров Григорий Валентинович

1. Автор относит результаты своих исследований к воздушным конденсаторам, однако эксперимент был поставлен на стенде с водяным охлаждением. Как полученные данные перенести на варианты воздушного охлаждения?

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем фактом, что они являются известными специалистами в направлении, рассматриваемом в диссертации, и не имеют общих с соискателем публикаций.

Выбор ведущей организации обусловлен тем, что она широко известна своими достижениями в области проведения фундаментальных и прикладных научных исследований по решению важнейших проблем развития энергетики. Организация имеет богатый опыт в исследовании тепломассообмена в двухфазных потоках, в том числе, применительно к тепломеханическому оборудованию ТЭС. В институте работают высококвалифицированные

специалисты, результаты работ которых публикуются в научных журналах, в т. ч. рекомендованных ВАК.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

**выявлена** зависимость параметров процесса конденсации насыщенного и перегретого пара в трубах и каналах от схемы движения охлаждающего теплоносителя: противоток, прямоток, перекрестный ток. В частности, показано, что характер изменения расхода пара по длине трубы при противотоке и прямотоке существенно различается. В функциональной зависимости  $G = f[G_0(1 - \bar{F})^m]$  при противотоке  $m < 1$ , а при прямотоке  $m > 1$ .

**разработана** и научно обоснована методика оценки соотношения потерь давления при прямотоке, противотоке и перекрёстном токе. Основными параметрами, определяющими это соотношение, являются паросодержание на выходе из трубы  $x_2$  и величина Natural Thermal Unit  $NTU = \frac{kF}{c_{охл}G_{охл}}$ , с ростом

которой отношение  $\frac{\Delta p_{прот}}{\Delta p_{прям}}$  увеличивается, в то время как с ростом  $x_2$  значение

$\frac{\Delta p_{прот}}{\Delta p_{прям}}$  уменьшается; при  $\frac{kF}{c_{охл}G_{охл}} \rightarrow 0$  отношение  $\frac{\Delta p_{прот}}{\Delta p_{прям}} \rightarrow 1$ .

**показано**, что при конденсации в трубе перегретый пар остаётся перегретым по всей длине трубы, если паросодержание на выходе из трубы  $x > 0$ .

**обобщены** экспериментальные данные по перегреву пара в координатах

$$\frac{\vartheta_2}{\vartheta_1} = f\left(\frac{\alpha F}{c_{охл}G_{охл}M}\right).$$

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

**применительно к проблематике диссертации** использованы методики аналитического моделирования и лабораторных экспериментальных исследований, позволившие получить обладающие новизной результаты.

**установлено** соответствие результатов эксперимента и расчётов по модели потери импульса продольного движения из-за поперечного потока пара при конденсации (модели Леонтьева-Шекриладзе).

**уточнена** методика расчёта температуры перегретого пара на выходе из теплообменной трубы с учётом переменности коэффициента теплоотдачи пара, связанной со снижением скорости его движения по мере конденсации в трубе. Методика учитывает схему движения теплоносителей.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:**

**определены** параметры, определяющие влияние схемы движения теплоносителей на потери давления конденсирующегося в трубах пара.

**представлена** методика оценки перегрева пара на выходе из теплообменных труб от температуры перегрева на входе в них и доли сконденсировавшегося в трубах пара.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

обоснованность приведённых в диссертации результатов и выводов. Она обеспечивается применением апробированных математических моделей, основанных на широко известных закономерностях тепломассообмена; корректной постановкой задачи и планированием эксперимента; использованием поверенных измерительных приборов, имеющих требуемый уровень точности в диапазоне измеряемых величин; хорошим согласованием расчётных и экспериментальных данных.

**Личный вклад соискателя состоит в:**

постановке задач исследования; анализе литературы по теме диссертации; планировании эксперимента; участии во всех этапах разработки и создания экспериментального стенда; проведении лабораторных экспериментов, выполнении измерений, обработке и анализе полученных результатов; участии в разработке методики расчёта температуры перегретого пара на выходе из теплообменной трубы с учётом переменности коэффициента теплоотдачи пара и методики оценки соотношения потерь давления при различных схемах движения теплоносителей; подготовке основных публикаций по выполненной работе.

Диссертационный совет пришёл к выводу о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, в которой на основании выполненных автором исследований получены результаты, обеспечивающие решение важной научной и прикладной задачи совершенствования методик проектирования воздушных конденсаторов паровых турбин. Работа соответствует п. 1 паспорта специальности 05.04.12 – «Турбомашины и комбинированные турбоустановки» и отвечает критериям, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, установленным Положением о порядке присуждения учёных степеней, утверждённым постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 года (с изменениями №335 от 21 апреля 2016 года).

На заседании 16 мая 2019 года диссертационный совет принял решение присудить Кондратьеву А.В. учёную степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 8 докторов наук по специальности защищаемой диссертации 05.04.12 – «Турбомашины и комбинированные турбоустановки», участвовавших в заседании, из 19 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение учёной степени – 16, против присуждения учёной степени – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель

диссертационного совета

Тумановский Анатолий Григорьевич

Учёный секретарь

диссертационного совета

Рябов Георгий Александрович



«16» мая 2019 г.