

УТВЕРЖДАЮ
Директор Федерального
государственного бюджетного
учреждения науки
Институт теплофизики
им. С.С. Кутателадзе
Сибирского отделения РАН,
член-корр. РАН



Маркович Д. М.

2019 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации – Федерального государственного
бюджетного учреждения науки «Институт теплофизики
им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук»
на диссертацию Кондратьева Антона Викторовича на тему
«Расчётно-экспериментальное исследование теплогидравлических характеристик
воздушных конденсаторов паровых турбин»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.04.12 – «Турбомашины и комбинированные установки»

Диссертация посвящена тепловому и гидравлическому исследованию процесса конденсации пара в наклонных охлаждаемых трубах воздушных конденсаторов паровых турбин при различных схемах движения теплоносителей.

Актуальность рассматриваемых в диссертации задач обусловлена широким распространением воздушно-конденсационных установок и сухих вентиляторных градиен, вызванным кардинальным ужесточением экологических требований к охлаждающей воде, а также стоимости водопользования. Исследование процессов конденсации в данной работе выполнено применительно к воздушным конденсаторам, но сущность процессов актуальна для различных теплообменных аппаратов с конденсацией пара внутри труб.

Считается, что схема движения теплоносителей (прямоточная, противоточная, перекрёстный проток) не влияет на расчётную температурную разность и размеры поверхности теплообменного аппарата. Данное утверждение справедливо, если теплогидравлические процессы обеспечивают постоянство коэффициента теплопередачи по всей поверхности теплообмена. Автором работы выполнен анализ гидравлических процессов при конденсации пара внутри

наклонной трубы воздушного конденсатора. Он указал на существенное влияние схемы движения теплоносителей на характер конденсации, потери давления и на процесс конденсации перегретого пара.

Изложенное выше позволяет констатировать несомненную актуальность рассматриваемой диссертационной работы.

Цель и задачи исследований. Целью диссертационной работы является теоретическое и экспериментальное изучение влияния схемы движения теплоносителей на процесс конденсации насыщенного и перегретого пара в трубах и каналах.

Структура, объём и содержание диссертационной работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы из 79 наименований и изложена на 109 страницах машинописного текста, включая 4 таблицы и 26 рисунков.

Во введении отмечена актуальность диссертационной работы, ее теоретическая и практическая значимость, поставлены цели и задачи исследования, представлены основные положения, выносимые на защиту.

В главе 1 изложены механизмы конденсации неподвижного и движущегося пара; особенности конденсации пара в присутствии неконденсирующихся газов; режимы течения двухфазных сред с фазовым переходом в вертикальных и наклонных трубах конденсаторов паровых турбин; особенности расчёта потерь давления конденсирующегося пара внутри труб. Показано, что, несмотря на основательную проработку вопросов конденсации чистого пара, отсутствуют исследования влияния схемы охлаждения водяного пара на процесс его конденсации.

В главе 2 описана математическая модель процесса конденсации перегретого и насыщенного пара в наклонной охлаждаемой трубе. Предложены две модели потерь давления от вязкого трения конденсирующегося пара: квадратичная модель и модель Леонтьева-Шекриладзе (модель потери импульса продольного движения из-за поперечного потока пара при его конденсации). Уравнение для изменения температуры перегрева, предложенное С.С. Кутателадзе, было уточнено с учётом переменности коэффициента теплоотдачи от пара по мере его конденсации в трубе.

В главе 3 представлено описание используемых экспериментальных установок и методики проведения экспериментальных исследований. Приводятся результаты измерений потерь давления пара в теплообменных трубках макетов ВК, послужившие отправной точкой данного исследования.

Должное внимание уделено описанию средств и методов измерения ключевых параметров основной экспериментальной установки – однетрубного конденсатора пара: температур пар и конденсата, а также давлений пара в верхнем и нижнем коллекторах стенда.

В разделе 3.3 приведены результаты оценки неопределённости измеряемых параметров стенда, в том числе степени сухости конденсирующегося пара на выходе из теплообменной трубы.

В главе 4 представлены результаты экспериментальных исследований, выполненных автором диссертационной работы. Получен график температур двухфазной смеси в среднем по ходу её движения сечении теплообменной трубы и показано, что режим движения двухфазной смеси – расслоенный с чётким разделением жидкой и газообразной фаз. Показано, что при неполной конденсации перегретого пара в наклонной охлаждаемой трубе, на выходе из этой трубы пар сохраняет небольшой перегрев.

Экспериментально выявлено, что потери давления конденсирующегося пара при противоточной схеме движения теплоносителей всегда выше таковых при прямоточной схеме их движения.

В главе 5 приводятся результаты анализа и сопоставления полученных результатов теоретических и экспериментальных исследований конденсации перегретого и насыщенного пара в наклонной охлаждаемой трубе.

Результаты испытаний подтверждают тот факт, что потери давления при конденсации пара в трубе ниже для прямоточной схемы охлаждения, чем для противоточной при прочих равных условиях теплообмена.

По результатам сопоставления экспериментальных данных с данными, полученными путём расчётов по двум предложенными моделям определения потерь давления конденсирующегося пара выявлено, что модель Леонтьева-Шекриладзе лучше согласуется с опытом.

Предложена зависимость, обобщающая экспериментальные данные по соотношению между перегревом пара на входе и выходе из теплообменной трубы. Предложенная зависимость удовлетворительно коррелируется с результатами измерений.

В заключении изложены основные результаты, полученные в диссертационной работе.

Анализ содержания диссертации и полученных её автором результатов показал, что поставленные задачи в целом **решены**, а поставленная в работе цель **достигнута**.

Научная и практическая значимость полученных результатов. Они могут быть использованы при проектировании и эксплуатации воздушных конденсаторов паровых турбин и других теплообменных аппаратов с конденсацией пара внутри труб в следующих практических ситуациях:

- определение величины потерь давления с учётом схемы движения теплоносителей;
- расчёт величины перегрева пара на выходе из теплообменного аппарата в зависимости от параметров теплообмена и перегрева на входе в случае неполной конденсации.

Достоверность результатов исследований достаточно доказательно обоснована автором за счёт применения аттестованных измерительных средств, имеющих удовлетворительные характеристики в диапазоне измеряемых значений, а также общепринятых методик, основанных на общеизвестных положениях теплофизики и гидрогазодинамики; удовлетворительным согласованием экспериментальных и расчётных данных.

Опубликование и апробация результатов работы проведены в полной мере. Кондратьевым А.В. по теме диссертации было опубликовано 5 научных статей в ведущих рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК для направления 05.04.12 и доложены на 6 научных конференциях, в том числе всероссийских и международных.

Текст диссертации и автореферата изложен логично и понятно, в научном стиле. Структура и логика представления материала полностью обоснованы в контексте раскрытия поставленной цели и задач исследования. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертационной работы.

Замечания по работе

- 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.

- Указано, что влияние схемы движения теплоносителей зависит от степени сухости пара на выходе из теплообменных труб конденсатора и величины тепловой единицы $NTU = \frac{k \cdot F}{C_{охл} \cdot G_{охл}}$, но нет информации о типичных значениях этой величины для воздушных конденсаторов.

- 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?

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

- Также в разделе научная новизна следовало бы более детально расшифровать термин «Зафиксирован перегрев пара на выходе из трубы». О чем идет тут 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.

Заключение по диссертационной работе

Отмеченные замечания не изменяют общей положительной оценки диссертационной работы. В целом представленная работа выполнена на высоком научном уровне и представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполненную на актуальную тему, связанную с совершенствованием воздушных конденсаторов, предназначенных для конденсации пара от энергетических паровых турбин.

Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, прошли достаточную апробацию на научно-технических конференциях и опубликованы в научных трудах соискателя.

Работа «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 – «Турбомашины и комбинированные турбоустановки».

Диссертация, автореферат и отзыв на диссертацию обсуждались на семинаре «Физическая гидродинамика» под руководством академика РАН Алексеенко С.В. 2 апреля 2019 года.

Заведующий лабораторией 6.1 ИТ СО РАН,
академик РАН,

доктор физико –математических наук  Алексеенко Сергей Владимирович

Главный научный сотрудник
лаборатории 6.1 ИТ СО РАН,
доктор технических наук

 Прибатурин Николай Алексеевич

Адрес:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теплофизики имени С.С. Кутателадзе Сибирского Отделения Российской академии наук (ИТ СО РАН)
630090 Новосибирск, пр. Лаврентьева, 1. Тел: 8 (383)3307050 Сайт: www.itp.nsc.ru

