

ОТЗЫВ

официального оппонента Некрасова Дмитрия Анатольевича на диссертационную работу Кондратьева Антона Викторовича «**Расчетно-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»

Актуальность избранной темы. Ужесточение экологических требований и стоимости водопользования в городах за последние годы привело к тому, что рост электрических мощностей теплоэлектростанций стал экономически оправдан только за счёт использования оборотных систем водоснабжения или за счёт применения воздушных конденсаторов и сухих вентиляторных градирен. Исследование процессов конденсации в данной работе выполнено на базе воздушных конденсаторов, но исследованные процессы актуальны и для иных теплообменников с конденсацией пара внутри труб. Работа Кондратьева А.В. посвящена тепловому и гидравлическому исследованию процесса конденсации пара в наклонных охлаждаемых трубах воздушных конденсаторов паровых турбин при различных схемах движения теплоносителей, что позволяет считать тему диссертации вполне *актуальной*.

Обоснованность и достоверность основных научных положений, выводов и рекомендаций. Основные положения, представленные на защиту, получены на основе аналитических исследований и лабораторных экспериментов. Автор разумно сочетал физический эксперимент и аналитические расчёты, сравнивая между собой их результаты. При этом использованы апробированные методики, и метрологически аттестованное оборудование, удовлетворяющее требованиям точности эксперимента. Результаты экспериментов и расчётов показали взаимное соответствие. Это позволяет считать основные научные положения, выводы и рекомендации диссертационной работы *обоснованными и достоверными*.

Научная новизна. В диссертационной работе проведены исследования по влиянию схемы движения теплоносителей на процесс конденсации перегретого и насыщенного водяного пара внутри наклонных охлаждаемых труб воздушных конденсаторов паровых турбин и других сходных теплообменных аппаратов:

- теоретический анализ показал, что параметры процесса конденсации насыщенного и перегретого пара в трубах и каналах зависят от схемы движения охлаждающего теплоносителя;
- экспериментально подтверждено, что потери давления конденсирующегося внутри трубы пара при противотоке всегда больше, чем при прямотоке;
- предложена методика оценки соотношения потерь давления при различных схемах движения теплоносителей;
- проведены экспериментальные исследования течения конденсирующегося перегретого пара внутри наклонных охлаждаемых труб. Зафиксировано сохранение перегрева пара на выходе из теплообменной трубы при его неполной конденсации;
- разработана методика расчёта температуры перегретого пара на выходе из трубы, учитывающая характер движения теплоносителей.

Личный вклад Кондратьева А.В. заключается в постановке задач; планировании и проведении экспериментов; осуществлении измерений и обработке результатов измерений; разработке методики расчёта температуры, перегретого пара на выходе из теплообменной трубы с учётом переменности коэффициента теплоотдачи пара; разработке методики оценки соотношения потерь давления конденсирующегося пара при различных схемах движения теплоносителей.

Научная и практическая значимость полученных результатов. Результаты, полученные автором, вносят важный вклад в понимание работы воздушных конденсаторов паровых турбин с конденсацией пара внутри наклонных охлаждаемых труб.

Результаты диссертационной работы Кондратьева А.В. могут быть использованы при проектировании и эксплуатации воздушных конденсаторов паро-

вых турбин и других теплообменных аппаратов с конденсацией пара внутри труб для определения величины потерь давления с учётом схемы движения теплоносителей и расчёта величины перегрева пара на выходе из теплообменных труб в зависимости от параметров теплообмена и перегрева на входе в случае неполной конденсации пара. Сказанное подтверждает *практическую ценность* диссертации.

Основные научные результаты опубликованы в виде 5 статей в ведущих рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК для направления 05.04.12 и доложены на 6 научных конференциях, в том числе всероссийских и с международным участием, где получили высокую оценку специалистов.

Оценка содержания диссертации и автореферата. Диссертация включает в себя введение, пять глав и заключение.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, выполнена постановка задач исследования, поставлена цель и задачи работы, раскрыты научная новизна и практическая значимость полученных результатов, сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава представляет собой обзор литературы по теме диссертации. Обзор структурирован, включает в себя необходимые формулы и графики. Глава подводит к выявлению цели и постановке задач исследования.

Вторая глава посвящена расчётным исследованиям конденсации пара в наклонной охлаждаемой трубе воздушного конденсатора. Автор предлагает упрощённую формулу для расчёта потерь давления конденсирующегося пара и рассматривает две модели потерь давления – квадратичную и модель потери импульса осевого движения из-за поперечного потока пара при его конденсации.

В третьей главе приводится схема экспериментальной установки, описание работы её в целом и отдельных её узлов. Описаны методики проведения экспериментов и выполнения измерений.

Четвёртая глава содержит результаты экспериментальных исследований и их обработку в виде графиков и зависимостей. Экспериментально показано,

что при конденсации перегретый пар сохраняет небольшой перегрев на выходе из трубы, если пар сконденсировался не полностью. Экспериментально подтверждено, что потери давления конденсирующегося пара при противотоке всегда больше таковых при прямотоке.

В пятой главе выполнен анализ и сопоставление между собой полученных результатов расчётных и экспериментальных исследований. Показано, что модель потери импульса продольного движения из-за поперечного потока пара при конденсации (модель Леонтьева-Шекриладзе) лучше согласуется с результатами экспериментов, чем квадратичная модель. Результаты обработки экспериментальных данных без учёта восстановления давления при торможении пара очень хорошо ($\sim 5 \div 7$ %) коррелируются с результатами расчёта по модели Леонтьева-Шекриладзе. Результаты обобщения зависимости перегрева пара на выходе из трубы от параметра, характеризующего теплообмен, также соответствуют экспериментальным данным.

Закключение соответствует полученным результатам.

Автореферат диссертации соответствует идеям, содержанию и выводам работы.

Замечания по диссертационной работе:

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.

Заключение по диссертации. Отмеченные замечания не влияют на общее положительное впечатление от диссертационной работы. В целом представленная работа выполнена на высоком научном уровне и по своему содержанию **соответствует заявленной специальности.**

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 «Положения о присуждении ученых степеней» для диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук (в том числе п. 9), а ее автор Кондрачев Антон Викторович заслуживает присвоения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.04.12 – Турбомашины и комбинированные турбоустановки.

Официальный оппонент
к.т.н., доцент кафедры
«ХимБиоТех» ФГБУ ВО «Московский
политехнический университет»
107023, Москва, ул. Большая Семёновская, д. 38
e-mail: nekrasov55@yandex.ru
+7(916)171-94-14

Некрасов Дмитрий Анатольевич

Подпись Некрасова Д.А. заверяю

Ученый секретарь



И.И. Калугин