

ОТЗЫВ

официального оппонента Горяева Андрея Борисовича 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 темы диссертации

Диссертация посвящена исследованию тепловых и гидравлических процессов протекающих при 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 градирен, вызванным кардинальным ужесточением экологических требований к охлаждающей воде, а также стоимости водопользования. Исследование процессов конденсации в данной работе выполнено применительно к воздушным конденсаторам, но оно актуально и для других теплообменных аппаратов с конденсацией пара внутри труб.

Обычно считается, что если один из теплоносителей испытывает фазовый переход, то схема движения теплоносителей (прямоточная, противоточная, перекрёстный ток) 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. Им было установлено существенное влияние схемы движения теплоносителей на характер конденсации, потери давления и на процесс конденсации перегретого пара внутри теплообменных труб.

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

Новизна проведенных исследований и полученных результатов

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. Получены следующие новые результаты:

- 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 противоточном движении охлаждающего теплоносителя 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.

Основные результаты по теме диссертационной работы опубликованы в виде 5 статей в ведущих рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК для направления 05.04.12. Также они были доложены на 6 научных конференциях, в том числе всероссийских и с международным участием. Автореферат отражает содержание диссертации.

Личный вклад Кондратьева А.В. заключается в постановке задач; планировании и проведении экспериментов; осуществлении измерений и обработке их результатов; 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.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов, рекомендаций и заключений

Достоверность результатов обеспечивается использованием апробированных методик обработки результатов экспериментов, расчетных моделей, основанных на фундаментальных законах тепло- и массообмена, корректной постановкой задачи и планированием эксперимента, использованием измерительных приборов, удовлетворяющих требованиям точности в диапазоне измеряемых величин, характерных для проводимых экспериментальных исследований.

Научная и практическая значимость полученных результатов

Результаты, полученные при выполнении диссертационной работы, вносят важный вклад в понимание процессов, протекающих при движении двухфазных потоков внутри теплообменных труб воздушных конденсаторов паровых турбин при наличии фазового перехода.

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.

Замечания по диссертационной работе

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. В главе 1 на странице 42 во второй части формулы 2.3 для определения скорости пара на выходе из трубки 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).

Заключение по диссертационной работе

Отмеченные замечания не ставят под сомнение основные результаты полученные автором и 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

