

**ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА
ДОКТОРА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК, ДОЦЕНТА
МОРОЗОВА АНДРЕЯ ВЛАДИМИРОВИЧА
НА ДИССЕРТАЦИЮ КРЫЛОВА ВИКТОРА СЕРГЕЕВИЧА
«ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛООБМЕНА
ПРИ КОНДЕНСАЦИИ ВОДЯНОГО ПАРА ИЗ СМЕСИ С ВЫСОКИМ
СОДЕРЖАНИЕМ НЕКОНДЕНСИРУЮЩИХСЯ ГАЗОВ И РАЗРАБОТКА НА
ЭТОЙ ОСНОВЕ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОГО КОНДЕНСАТОРА»
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ
2.4.7 ТУРБОМАШИНЫ И ПОРШНЕВЫЕ ДВИГАТЕЛИ**

В диссертационной работе Крылова В.С. исследуются процессы конденсации движущегося пара из парогазовой смеси с большой долей неконденсирующихся газов. В качестве одного из возможных способов повышения эффективности конденсации автором предложено совершенствование проточной части парового пространства конденсатора с сохранением постоянства скорости движения пара. Данная тема является достаточно **актуальной** для энергетических объектов нефтегазовой отрасли, атомной энергетики и парогазовых установок.

Научную новизну диссертационного исследования определяют следующие положения:

- получены результаты экспериментальных исследований по определению коэффициента теплоотдачи при конденсации пара на горизонтальном трубном пучке из движущейся парогазовой смеси;
- разработаны физическая и математическая модель процесса конденсации пара из парогазовой смеси;
- разработана методика расчета коэффициента теплоотдачи от парогазовой смеси к стенке на фоне роста концентрации газов по мере конденсации пара.

Теоретическая значимость заключается в том, что результаты диссертационного исследования вносят заметный вклад в понимание процессов тепломассообмена при эксплуатации конденсаторов паротурбинных установок с высокой концентрацией неконденсирующихся газов.

Практическая значимость определяется разработкой новых методик расчета и предлагаемой автором компоновкой секций высокоэффективного конденсатора пара, которые могут заместить существующие на более эффективные. Полученные данные по интенсивности тепломассообмена при конденсации пара с высоким содержанием неконденсирующихся газов на пучках гладких горизонтальных труб применимы на практике для конденсаторов перспективных циклов типа цикла Аллама.

Достоверность результатов исследований обеспечивается следующим:

- разработкой методики исследований на основе приборной базы с высокой точностью измерений;
- анализом результатов измерений с обеспечением достоверных значений тепловых и материальных балансов и оценкой погрешностей измерений эксперимента;
- подтверждением корректности предлагаемых автором математических моделей процесса конденсации пара из парогазовой смеси;
- обсуждением экспериментальных данных на научных совещаниях, семинарах и конференциях.

Личный вклад автора в получении результатов, представленных в диссертации, заключается в участии на всех этапах проведения исследования, включая постановку задач, планирование, организацию и проведение экспериментов, выполнение обработки и анализа данных, а также разработку методики расчета высокоэффективного конденсатора пара из парогазовой смеси с большим содержанием неконденсирующихся газов.

Структура диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и библиографического списка из 90 наименований, изложена на 172 страницах машинописного текста, содержит 37 рисунков, 14 таблиц и три приложения.

Диссертация включает в себя введение, четыре главы и заключение.

Во введении сформулированы цели и задачи работы, представлены положения, выносимые на защиту, личный вклад автора, научная новизна, данные о теоретической и практической значимости, достоверности и апробации полученных результатов.

В первой главе приведен обзор технической литературы, посвященный исследованиям в области конденсации пара с содержанием неконденсирующихся газов, а также выполнен анализ существующих методик расчета конденсаторов паровых

турбин. Приведены известные зависимости для конденсации чистого пара, показана проблематика исследования при конденсации пара из парогазовой смеси. Выполнена постановка задач исследования.

Во второй главе описаны процессы и особенности конденсации пара из парогазовой смеси, приводится схема и описание экспериментальной установки для исследования процессов тепломассообмена при конденсации движущейся парогазовой смеси с большим содержанием неконденсирующихся газов. На основе описанных методик проведения экспериментов и обработки полученных данных выполнен ряд опытов с различными скоростями пара и концентрациями воздуха. Получены значения коэффициентов теплопередачи при конденсации пара из движущейся парогазовой смеси при изменении объемной доли воздуха и выполнена аппроксимация экспериментальных данных.

В третьей главе автор приводит описание методики расчета высокоэффективного конденсатора пара с большим содержанием неконденсирующихся газов, созданной на основе полученных экспериментальных данных. Целью расчета являлась минимизация теплообменной поверхности при заданной степени конденсации пара в трубном пучке. Расчеты выполнены при варьировании различными параметрами (давлением пара, температурой воды, скоростью воды в трубах, длиной труб и концентрацией газов). Сделаны оценки влияния отложений на поверхности труб и точности расчета коэффициента теплопередачи на результаты расчета. Получены зависимости площади поверхности теплообмена от скорости и зависимости оптимальной скорости от переменного параметра. Определено значение оптимальной скорости парогазовой смеси.

В четвертой главе представлены результаты экспериментального исследования модуля высокоэффективного конденсатора пара. Приведены зависимости среднего коэффициента теплопередачи от объемной концентрации неконденсирующихся газов при разных тепловых нагрузках. Показана важность использования эффективного устройства газоудаления при конденсации пара с высоким содержанием неконденсирующихся газов. Разработан модуль и секция высокоэффективного конденсатора на основе полученных экспериментальных данных.

В заключении диссертации подведены итоги и перечислены основные результаты

выполненной работы.

Материалы диссертации изложены в полной мере в 12 статьях в ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК РФ, а также в публикациях в изданиях, индексируемых международными реферативными базами данных и системами цитирования Web of Science и Scopus. Работа была поддержана Министерством образования и науки Российской Федерации в рамках ФЦП и соглашением о предоставлении гранта Российского научного фонда. Это характеризует высокую публикационную активность автора и научную значимость исследования.

К диссертационному исследованию имеются следующие вопросы и замечания:

1. Последний пункт положений, выносимых на защиту, было бы более корректно сформулировать следующим образом: «результаты испытания модуля высокоэффективного конденсатора пара из ПГС».

2. Зачем в начале второй главы диссертации приведено описание установки с перегревателем пара? В конденсаторе ВПТУ-100 пар со смесью CO_2 подаётся внутрь теплообменных труб, в то время как в высокоэффективном конденсаторе конденсация пара из парогазовой смеси осуществляется на наружной поверхности пучка труб.

3. Проводилась ли оценка возможного эрозионного износа теплообменных труб конденсатора при работе в условиях подачи парогазовой смеси со скоростью 40-50 м/с?

4. Какова была скорость пара в экспериментах на высокоэффективном конденсаторе, результаты которых представлены в четвертой главе диссертации? Было бы желательным указать её в работе, учитывая, что основной результат третьей главы это как раз определение оптимальной скорости пара в данном теплообменном аппарате.

Эти замечания не влияют на общую положительную оценку диссертационного исследования. Диссертация Крылова В.С. представляет собой завершённую научно-квалификационную работу.

Автореферат отражает основные положения диссертационной работы.

Тема и содержание диссертации соответствует паспорту научной специальности 2.4.7 Турбомашины и поршневые двигатели.

Диссертация Крылова Виктора Сергеевича «Экспериментальное исследование процессов теплообмена при конденсации водяного пара из смеси с высоким содержанием неконденсирующихся газов и разработка на этой основе

высокоэффективного конденсатора» удовлетворяет требованиям пунктов 9, 10, 11, 13, 14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (в действующей редакции).

Соискатель Крылов Виктор Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.7. Турбомашины и поршневые двигатели (технические науки).

Официальный оппонент

Ученый секретарь АО «ГНЦ РФ – ФЭИ»,

доктор технических наук, доцент

А.В. Морозов

15 мая 2025 г.

Акционерное общество «Государственный научный центр Российской Федерации – Физико-энергетический институт имени А.И. Лейпунского» (АО «ГНЦ РФ – ФЭИ»)

Почтовый адрес: 249033, г. Обнинск, Калужской обл., пл. Бондаренко, д. 1

Тел.: (484) 399-70-00 (доб. 81-19), Электронная почта: avmorozov@ipre.ru



Подпись Морозова А.В. удостоверяю:
Заместитель ОДО АО «ГНЦ РФ-ФЭИ»
Л.С. Баруткина 15.05.2025г.