

параметров: расхода пара в конденсатор, расхода охлаждающей среды, температуры охлаждающей среды.

Актуальность работы определяется рядом факторов: все большим распространением конденсаторов с воздушным охлаждением особенно для регионов с ограниченными водными ресурсами; работой турбин в резко переменных режимах, определяемых потребностями потребителей; воздействием внешних факторов на состояние конденсаторов, в частности, загрязнения части поверхности теплообмена, что выражается в неравномерности распределения тепловых потоков вдоль поверхности конденсации конденсатора и др. Способность пароструйных эжекторов поддерживать давление пара в конденсаторе определяется не только количеством присасываемого в вакуумную систему турбины воздуха, но и количеством отсасываемой паровоздушной смеси. При этом необходимо учитывать сопротивление тракта конденсатор-эжектор, зависящее от количества и давления отсасываемой смеси. Многофакторность описанного взаимодействия конденсатора и эжектора с одной стороны определяет экспериментальный метод оценки мероприятий по совершенствованию данной системы, с другой стороны требует разработки новых расчетных методик, позволяющих обоснованно рекомендовать конструктивное исполнение и эффективность этих мероприятий

Основная идея диссертационного исследования заключается в использовании дросселирующих устройств на линии отсоса паровоздушной смеси из конденсатора в пароструйный эжектор. Данное решение позволяет уменьшить расход пара в отсасываемой смеси, снизить тем самым давление пара на всасе в эжектор и улучшить его способность поддерживать низкое давление в конденсаторе.

Для реализации предложенного решения в диссертации Картуесова А.Ю. разработала ряд расчетных методик: оценка распределения паровых нагрузок в отдельных секциях конденсатора, имеющих различные условия теплообмена (различные расходы охлаждающего агента); определение

газодинамического сопротивления тракта конденсатор-эжектор, включая дроссельные устройства; определение оптимальных размеров дроссельных устройств. Разработанные методики включают оценку параметров потоков с учетом содержания воздуха и пара в отсасываемой паровоздушной смеси.

Несомненной положительной стороной диссертации Картуесовой А.Ю. является проведенные экспериментальные исследования на оригинальной лабораторной установке. Разработанная схема измерений позволяет с высокой точностью сводит тепловые и материальные балансы потоков в экспериментальном конденсаторе. Для моделирования пароструйного эжектора в схеме экспериментальной установки с водоструйным эжектором используется сопло, позволяющее при сверхкритическом течении смеси разного состава и параметров добиться примерного постоянства объемного расхода смеси в различных режимах, что характерно для работы пароструйных эжекторов в составе конденсационной установки.

Полученные экспериментальные данные позволили оценить влияние на совместную характеристику конденсатор-эжектор неравномерности тепловых потоков в секциях конденсатора, различного содержания воздуха в конденсирующемся паре, наличия дросселей, ограничивающих содержание пара в отсасываемой из конденсатора смеси, диаметров данных дросселей. Показано, что ограничивающие дроссели оказывают влияние на давление в конденсаторе при значительной неравномерности (более 50%) распределения тепловых потоков в секциях конденсатора.

В результате выполненных исследований обоснована возможность реализации предложенных технических решений – установке ограничительных дросселей на линии отвода паровоздушной смеси из конденсатора в эжектор – в промышленных установках.

Изложенное позволяет считать диссертацию Картуесовой А.Ю. и выполненные ею исследования актуальными. Они свидетельствуют о возможности использования полученных результатов в других установках, в частности, в конденсаторах с водяным охлаждением, оснащенных

пароструйными эжекторами, водокольцевыми насосами, теплообменных аппаратах, функционирующих в вакуумных режимах, различных технологических подсистем паротурбинной установки. Продолжение исследований может быть направлено на изучение влияния различных температур охлаждающего агента в секции (зоны) трубной системы конденсатора.

Научная новизна результатов, полученных автором диссертации, заключается в следующем:

- – разработан ряд методик определения геометрических параметров дроссельных вставок на линии отвода паровоздушной смеси от конденсатора к пароструйному эжектору с учетом неравномерности тепловых потоков в секциях конденсатора;
- – проведены экспериментальные исследования вакуумного конденсатора пара при неравномерном охлаждении части теплообменной поверхности и различном содержании воздуха в конденсирующемся паре. Показано, что влияние дроссельных вставок сказывается при значительной (более 50%) неравномерности расхода охлаждающего теплоносителя в секции конденсатора;
- – установлено, что использование дроссельных вставок позволяет в ряде режимов функционирования конденсатора – при неравномерном тепловом потоке в различные секции конденсатора – поддерживать более глубокий вакуум за счет уменьшения содержания пара в отсасываемой паровоздушной смеси;
- – экспериментально установлено и разработана методика определения оптимальных геометрических размеров дроссельных вставок для многосекционных конденсаторов.

Практическая значимость результатов исследования заключается в развитии представлений о совместном функционировании конденсаторов и

пароструйных эжекторов, особенностях построения их совместной характеристики. Полученные знания могут быть использованы для разработки и проектирования конденсаторов и схем воздухоудаления на заводах изготовителях турбинного оборудования, а также для повышения эффективности конденсаторов в процессе эксплуатации в случае неравномерного распределения тепловых потоков в различных зонах трубных пучков конденсаторов. Эти неравномерности могут вызываться различными причинами: различным расходом или температурой охлаждающего агента, неравномерным загрязнением трубок, дефектами в паровом пространстве конденсатора и др. Результаты проведенных исследований могут быть использованы при подготовке специалистов в Вузах по соответствующим учебным курсам.

Достоверность результатов исследований определяется разработкой расчетных методик на основе известных зависимостей о гидравлическом сопротивлении и теплообмене и соответствии этих методик общим физическим представлениям о происходящих в системе конденсатор-эжектор процессах. Корректность результатов экспериментальных исследований обеспечена, использованием современных измерительных приборов, имеющих необходимый уровень точности, оценкой погрешности измерений, научным подходом в планировании опытов.

Автореферат соответствует основным положения и результатам диссертации.

Основные результаты достаточно полно представлены в 12 статьях и трудах конференций, в том числе в 4-х публикациях в журналах из списка ВАК.

В качестве вопросов и замечаний по работе следует отметить:

1. Литературный обзор по диссертации выполнен недостаточно критичным. Значительное место уделено общеизвестной информации из учебников. Слабо отражен опыт заводов (в частности Уральского турбинного завода), изготавливающих теплообменные

аппараты, функционирующие в условиях разряжения, а также опыт по разработке схем отсосов неконденсирующихся газов из этих аппаратов.

2. В методике расчета потерь давления по длине трубы при конденсации в ней пара принимается постоянство плотности среды и теплового потока (условия на с. 63). Очевидно, что в результате потерь давления при движении среды плотность потока изменяется; при конденсации пара увеличивается содержание воздуха в паре, что приводит к снижению коэффициент теплоотдачи и, соответственно, изменяется тепловой поток. Как указанные допущения могут сказаться на полученных результатах?
3. Можно ли считать, что в представленных опытах на экспериментальной установке конденсатор функционирует на характеристике эжектора?
4. В диссертации экспериментальные данные представлены, в том числе, в зависимости от относительного расхода охлаждающего агента. Какова неравномерность тепловых нагрузок по трубкам лабораторного конденсатора?
5. В диссертации отсутствуют условные обозначения, что затрудняет знакомство с работой. На рис. 3.1, где представлена схема экспериментальной установки, отсутствуют номера позиций, что затрудняет понимание данной схемы. Номера позиций приведены на фото установки, где они не имеют практического смысла.

Отмеченные замечания не снижают научной и практической значимости выполненной работы в целом. Представленная работа вносит существенный вклад в энергомашиностроительную отрасль страны в части разработки и совершенствования конструкций элементов и схем удаления неконденсирующихся газов из теплообменного оборудования паротурбинных установок, функционирующих под разряжением. Диссертация Картуесовой А.Ю. представляет собой законченную научно-исследовательскую работу и

вполне отвечает требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук (п. 9 Положения о присуждении ученых степеней ВАК), а ее автор Картуесова Анна Юрьевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.7 – Турбомашины и поршневые двигатели.

Отзыв на диссертацию и автореферат подготовлен на основании заключения кафедры Турбины и двигателя «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» и утвержден на заседании кафедры 05.09.2024 г., протокол № 8,

Заведующий кафедрой «Турбины и
двигатели» ФГАОУ ВО «УрФУ имени
первого Президента России Б.Н.
Ельцина», к.т.н., доцент

Комаров Олег
Вячеславович

Профессор кафедры «Турбины и
двигатели» ФГАОУ ВО «УрФУ имени
первого Президента России Б.Н.
Ельцина», д.т.н., профессор

Аронсон
Константин
Эрленович

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»: 620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19; +7 (343) 375-45-07, rector@urfu.ru