

УТВЕРЖДАЮ:

Заместитель генерального директора
ОАО «Всероссийский Теплотехнический
научно-исследовательский институт»
(ОАО ВТИ), К.Т.Н.

_____ В.В. Мартынов

» мая 2018 года.

ОТЗЫВ

ведущей организации ОАО «Всероссийский теплотехнический научно-исследовательский институт» на диссертационную работу Мурманского Ильи Борисовича «Совершенствование многоступенчатых пароструйных эжекторов конденсационных установок паровых турбин», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.04.12 — Турбомашины и комбинированные турбоустановки

1. Актуальность диссертационной работы.

Экономическую эффективность работы паротурбинных установок тепловых электростанций в значительной степени определяется эффективностью работы конденсационных установок. При этом необходимо обеспечить в эксплуатации расчетные значения давления пара в конденсаторах (за турбиной). Между тем, на очень многих ТЭС присосы воздуха в вакуумную систему во много раз превышают величины, нормируемые ПТЭ, что снижает экономичность и надежность работы ПТУ в целом и требует особого внимания к совершенствованию эжекторов.

Предложенный и реализованный в рамках настоящей работы комплексный подход к разработке нового эжектора с учетом современных решений по расчету и конструированию, несомненно, актуален.

2. Научная новизна, обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, изложенных в работе.

В работе получен ряд новых научных результатов, в том числе:

- обобщенные по 24 серийным эжекторам данные в части: анализа положения «эффективного сечения», в котором инжектируемая смесь достигает скорости звука; различных значений осевого положения сопла; распределения степеней сжатия по ступеням эжектора;

- уточненная методика расчета, позволяющая оптимизировать ряд конструкторских решений на этапе проектирования эжектора, а также настраивать эжектор на высокоэффективную работу в конкретных условиях эксплуатации;

- выявленный газодинамический эффект изменения давления ПВС в промежуточных охладителях многоступенчатого эжектора;

- предложенная и разработанная физико-математическая модель, описывающая эффект повышения давления, как скачок давления в формируемой на входе в теплообменник двухфазной, двухкомпонентной среде.

Достоверность и обоснованность результатов работы обеспечена: использованием апробированных методик измерений и метрологически поверенных приборов; хорошим согласованием результатов испытаний эжекторов с данными других авторов, а также с результатами расчетов по уточненной автором методике; опытом функционирования новых эжекторов, модернизированных по разработкам автора, в различных условиях эксплуатации.

3. Практическая значимость полученных результатов.

Практическая значимость диссертационной работы определяется тем, что основные результаты работы (уточненная методика расчета, ряд новых конструктивных решений и др.) уже используются при разработке новых высокоэффективных эжекторов, обеспечивающих повышенную экономичность функционирования конденсационных установок ПТУ в различных условиях эксплуатации.

4. Структура и содержание работы.

На рецензию представлена диссертация, состоящая из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложения. Общий объем — 176 страниц текста и приложений, 50 рисунков, 12 таблиц.

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цели и задачи исследования, отражена научная новизна и практическая значимость полученных в диссертации результатов.

Работа выполнялась в соответствии с приоритетным направлением развития науки, технологий и техники РФ (производственные и энергосберегающие технологии), и соответствует перечню критических технологий РФ (производство электроэнергии и тепла на органическом топливе), утвержденному Президентом РФ 30.03.2002 г. Часть исследований выполнена в рамках грантов РФФИ на научные проекты.

В первой главе представлен аналитический обзор литературных данных по вопросам совершенствования струйных аппаратов эжекторов, исследованию газодинамических процессов в газоструйных эжекторах, повышению эффективности и надежности их функционирования, а также методик расчета пароструйных эжекторов.

На основе выполненного анализа обоснованно сформулированы задачи и цели исследований.

Во второй главе представлены результаты разработки уточненной методики расчета многоступенчатых пароструйных эжекторов.

Исходной информацией, обосновывающей необходимость уточнения методики расчетов эжекторов, является собранный и обобщенный автором диссертации представительный материал по отказам в работе эжекторов конденсационных установок ПТУ, а также результаты испытаний 34 серийных эжекторов в различных условиях эксплуатации на ТЭС. У большинства испытанных эжекторов показано существенное расхождение паспортных и рабочих характеристик.

При разработке уточненной методики расчета пароструйных эжекторов в качестве базовой использована методика МЭИ. На основе обобщения рабочих характеристик серийных эжекторов различных заводов-изготовителей выполнена оценка положения «эффективного сечения», где подсасываемая паровоздушная смесь (ПВС) достигает скорости звука. Установлена взаимосвязь между положением «эффективного сечения» и основным геометрическим параметром эжектора. На основе выполненного автором численного моделирования показано возникновение характерных скачков уплотнений в камере смешения и диффузоре эжектора. На основе результатов численного моделирования принята рекомендация по расчету предельных режимов функционирования эжектора.

Уточненная методика позволяет определять характеристику 1-й ступени эжектора, а также последующих ступеней при известной доле конденсирующегося в промежуточных охладителях пара.

В третьей главе представлены результаты разработки и экспериментальных исследований нового эжектора ЭПО-3-80 для конденсационной установки турбины К-200-130.

Расчет нового эжектора выполнен на основе уточненной автором методики с учетом необходимости обеспечения повышенной производительности (до 110-120 кг/ч) и пониженного давления всасывания.

При разработке конструкции эжектора предложен и реализован ряд новых технических решений: вертикальные выносные охладители, расположенные триангулярно; система крепления сопла позволяет изменять его осевое положение по отношению к диффузору, настраивая эжектор на функционирование в конкретных условиях эксплуатации; поверхность теплообмена охладителей выполнена с U-образными трубками и другие. Эти решения защищены патентом на полезную модель и патентом на изобретение.

Экспериментальное исследование нового эжектора выполнялось в реальных условиях эксплуатации на Сургутской ГРЭС-1 в составе конденсационной установки турбины К-200-130. Для этого была разработана и реализована расширенная (по сравнению с традиционной) схема измерений, позволяющая измерить ряд локальных параметров теплоносителей в различных точках элементов конструкции эжектора.

Используя реализованные новые технические решения, выполнена настройка осевого положения сопла под реальные присосы воздуха на турбине. Получен комплекс характеристик эжектора при различных положениях сопел. Установлено, что новый эжектор при оптимально установленном положении сопла обеспечивает отсос ПВС в количестве 140 кг/ч (в 2 раза больше, чем на ранее установленном эжекторе). При этом давление всасывания составило $\sim 2,4$ кПа, а поддерживаемое эжектором давления в конденсаторе турбины $P = 3,6$ кПа.

Зафиксировано хорошее совпадение опытных и расчетных данных по уточненной методике, что подтверждает правильность принятых технических решений, заложенных при разработке нового эжектора в его конструкцию.

В четвертой главе представлены результаты исследования газодинамического эффекта существенного изменения давления ПВС в промежуточных охладителях эжектора.

Различие в разности давлений ПВС, по мнению автора, определяется взаимодействием предвключенных и приключенных (последующих) пароструйных ступеней, а также различием в газодинамических и теплообменных процессах при низкой и высокой температурах охлаждающей воды на входе в теплообменники.

При низкой температуре охлаждающей воды давления ПВС на входе в охладитель I ступени во многих режимах ниже, чем на выходе. В охладителе происходит скачок давлений. При высоких температурах воды давление ПВС на входе в охладитель I ступени существенно выше, чем на выходе. Это связано с неполной конденсацией пара в трубном пучке и значительным возрастанием газодинамического сопротивления охладителя. Чем ниже давление на входе в охладитель, тем выше скачок давления, что, по мнению автора, определяется возрастанием скорости потока перед охладителем, связанной с возрастанием удельного объема (уменьшением плотности ПВС). Во II-ой ступени скачок давлений слабее зависит от давления перед охладителем. В III-ей ступени скачок давлений имеет место как при низкой температуре воды на входе, так и при высокой.

Для объяснения зафиксированного эффекта автор рассматривает несколько гипотез. Для разработки одной из гипотез в работе сформулирована физико-математическая модель на основе модели течения влажного пара в последних ступенях турбин. Полученные результаты, отдавая предпочтение объяснению зафиксированного эффекта с позиции гипотезы (модели) скачка давления во влажном паре, показывают необходимость дальнейшего исследования зафиксированного эффекта. Считаем такую постановку задачи для дальнейших исследований правильной.

В пятой главе представлена оценка технико-экономической эффективности от применения нового эжектора для конденсационных установок турбин конденсационного и теплофикационного типов.

Представленные в работе результаты расчетов и анализа показали целесообразность разработки и применения новых эжекторов как для конденсационных, так и для теплофикационных паровых турбин, что может обеспечить существенный экономический эффект ПТУ в целом.

Замечания по диссертации и автореферату.

1. Рабочие характеристики эжектора рассматриваются только в виде зависимости давления всасывания от расхода воздуха. Достаточно ли этого для эксплуатации?

2. В уточненной автором методике не ясно, на основе каких данных делается оценка осевого положения сопла.

3. Не расшифровано, каким образом можно объяснить более высокое влияние присосов в ЧНД турбины в летнее время года (гл. 5).

4. При испытаниях эжектора с повышенной температурой охлаждающего конденсата на входе давление всасывания при некоторых расходах воздуха выше, чем при аналогичных режимах с низкой температурой охлаждающего конденсата. Требуется объяснение.

Указанные замечания не снижают научной и практической значимости работы в целом.

Рассматриваемая работа выполнена на современных научно-методическом и техническом уровнях. Все основные результаты работы достоверны и соответствуют современным физическим и техническим представлениям.

Результаты диссертационной работы опубликованы в 10 статьях (в том числе 8 в рецензируемых журналах), неоднократно докладывались на многочисленных Всероссийских и Международных конференциях, семинара и совещаниях, получены 3 патента на изобретение, разработаны ряд методических пособий для студентов специализированных ВУЗов.

Автореферат полностью соответствует требованиям и полностью отражает содержание работы.

Заключение

1. Диссертационная работа И.Б. Мурманского «Совершенствование многоступенчатых пароструйных эжекторов конденсационных установок паровых турбин» полностью соответствует паспорту специальности 05.04.12. и требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям в соответствии с п. 9 Положения ВАК

2. И.Б. Мурманским разработаны и изложены новые научно-обоснованные технические и технологические решения, внедрение которых обеспечит значительный вклад в развитие энергетического комплекса страны за счет повышения эффективности и надежности работы ПТУ.

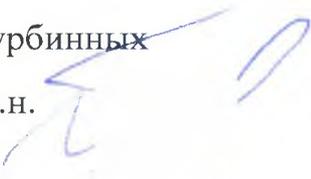
3. И.Б. Мурманский заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.04.12 — Турбомашины и комбинированные турбоустановки.

Диссертационная работа и отзыв на нее обсуждены на расширенном заседании НТС отделения турбинных установок ОАО «ВТИ» (протокол №

03/03 от 16 мая 2018 года). Присутствовали: докторов технических наук – 3, кандидатов технических наук – 5.

Председатель НТС:

Заведующий отделением турбинных установок ОАО «ВТИ», к.т.н.

 Тарадай Дмитрий Вадимович

Научный руководитель,
председатель ученого совета
ОАО «ВТИ», д.т.н.

 Тумановский Анатолий Григорьевич

Подписи Тарадая Дмитрия Вадимовича и Тумановского Анатолия Григорьевича заверяю:

Руководитель отдела управления кадрами ОАО «ВТИ»

 Белова Евгения Юрьевна

Сведения о ведущей организации:

Открытое акционерное общества «Всероссийский дважды ордена Трудового Красного Знамени Теплотехнический научно-исследовательский институт» (ОАО «ВТИ»)

Р.Ф., 115280, г. Москва, ул. Автозаводская, д. 14.

Е-mail: vti@vti.ru.

Факс: (495) 234-74-25; 679-59-24.

Телефоны: (495) 234-74-27; 234-74-30.