

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертацию Стерхова Кирилла Владимировича «Исследование естественной циркуляции в вертикальном водотрубном котле»,

представленную на соискание ученой степени

кандидата технических наук по специальности

05.14.14 – Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты»

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка используемой литературы из 94 наименований на 105 страницах основного текста. Работа иллюстрирована 37 рисунками и 14 таблицами.

Работа посвящена важным проблемам гидравлики и надежности испарительных поверхностей нагрева вертикальных водотрубных котлов и является существенным вкладом в развитие этого научного и практического направления использования котлов – утилизаторов парогазовых установок.

Актуальность темы диссертации. В последнее время ведется широкое внедрение парогазовых установок различной мощности. Важную роль в их эффективности и надежности работы играют котлы-утилизаторы (КУ). Они выполняются с циркуляционными контурами нескольких давлений. Надежность их работы определяется необходимостью обеспечения устойчивой циркуляции при отсутствии застоя, опрокидывания, свободного уровня, пульсаций и кризиса теплообмена в испарительных трубах. При горизонтальном размещении труб испарителя в вертикальных котлах-утилизаторах применяются циркуляционные насосы с небольшой кратностью принудительной циркуляции (2 – 4). Идея перехода на естественную циркуляцию представляется крайне заманчивой, но она требует разработки новых конструктивных решений и обеспечения надежности естественной циркуляции с повышенной кратностью до 6 – 7. Поэтому актуальность темы работы, связанной с организацией естественной

циркуляции в испарительном контуре вертикального КУ и способам обеспечения ее устойчивости не вызывает сомнения.

В первой главе диссертации дан обзор литературных источников, посвященных исследованиям процессов, протекающих в испарительных поверхностях теплообмена. Рассмотрены различные схемы генерации пара и режимы течения пароводяной смеси в современных энергетических установках. Показаны основные способы проверки надежности работы испарителей и определены условия их применимости. Приведены отличия в работе и конструктивном исполнении котлов-утилизаторов по сравнению с паровыми котлами, сжигающими органическое топливо. В обзоре дан анализ основных проблем, возникающих в процессе эксплуатации КУ и связанных с недостаточной надежностью работы циркуляционного контура. На основе аналитического обзора по теме диссертационной работы представлены основные задачи исследования.

Во второй главе представлены результаты верификации расчета циркуляции в программе Boiler Designer, которая проводилась в ходе экспериментальных исследований. Дано описание объекта исследований, которым являлся котел-утилизатор Пр-76-3.3-415 ПК-79 Челябинской ТЭЦ-1. Приведены результаты испытаний. Верификация расчета циркуляции проводилась путем сравнения экспериментальных и расчетных значений параметров циркуляции, а именно расхода среды в контуре циркуляции, кратности циркуляции и давления за циркуляционным насосом. Полученные результаты позволяют утверждать, что расчет циркуляции в программе Boiler Designer осуществляется с высокой точностью и достоверно отражает реальную работу циркуляционного контура.

В третьей главе диссертант представил результаты расчетного исследования способов организации естественной циркуляции в контуре вертикального КУ. В качестве исходной конструкции для разработки контура циркуляции была использована конструкция котла-утилизатора ПК-79. Рассмотрено влияние увеличения нивелирного напора или уменьшения

гидравлического сопротивления опускных, отводящих труб и испарительной поверхности теплообмена на работу контура. Анализ результатов численного эксперимента показал, что с увеличением угла наклона труб с 0 до 7° кратность циркуляции возрастает, но остается меньше рекомендуемого значения, причем высота расположения барабана увеличивается примерно на 7 м. главной задачей является увеличение полезного напора и снижение сопротивления. Показано, что увеличение заходности змеевика и ширины газохода позволяет получить значительное увеличение кратности циркуляции до 4,56. Наиболее интенсивное увеличение расхода среды в контуре циркуляции (примерно в 2 раза) наблюдается при увеличении числа опускных труб с 1 до 4 (отводящих с 2 до 5). Приведено сравнение эффективности изменения различных конструктивных характеристик в виде диаграммы циркуляции. Особо следует отметить достаточно глубокую проработку различных способов увеличения интенсивности циркуляции в реальных конструктивных ограничениях вертикальных КУ.

В четвертой главе определены критерии надежности циркуляции и приведены рекомендации к проектированию испарительного контура для вертикальных КУ с естественной циркуляцией широким диапазоне давления среды и мощности. Они предложены на основании опыта эксплуатации, рекомендаций нормативного метода гидравлического расчета и включают требования по расслоению, минимальным и максимальным скоростям, максимальным паросодержаниям и температурному режиму стенок труб. Показано, что конструкцию однопетлевого испарителя с числом труб 7-8 следует рассматривать как основную при проектировании циркуляционного контура вертикального КУ. В работе рассмотрен ряд вертикальных КУ, прототипами для которых являлись КУ с многократной принудительной циркуляцией производства АО «ЗиО». Переход к естественной циркуляции в большинстве случаев привел к увеличению металлоемкости и затрат на металл циркуляционного контура. В модификациях ПК-98 и ПК-110 удалось

добиться снижения металлоемкости за счет применения более плотного оребрения труб испарителя и уменьшения числа рядов труб по ходу газов.

Пятая глава посвящена исследованию возникновения естественной циркуляции в контуре вертикального КУ при пуске. В ходе исследования рассмотрены вопросы надёжности естественной циркуляции в КУ с многократной принудительной циркуляцией при отключении циркуляционного насоса на номинальной и частичной нагрузке газовой турбины и возникновения циркуляции в период начала парообразования.

Проверка результатов, полученных в ходе расчетных исследований, проводилась в условиях натурного эксперимента на действующем котле-утилизаторе ПК-55 Юго-Западной ТЭЦ. Показано, что в испарителе с горизонтальными трубами вертикального КУ возникает естественная циркуляция при пуске ПГУ и работе котла в переходных режимах. Это подтверждает полученное расчетным способом необходимое условие возникновения естественной циркуляции. Максимум расхода среды в контуре наблюдается при наличии пара в подъемном звене, что является достаточным условием для организации естественной циркуляции.

Оценивая работу в целом следует отметить следующее.

Работа обладает научной новизной, теоретической и практической значимостью. Среди наиболее важных результатов, обладающих новизной, необходимо отметить обоснование возможности организации естественной циркуляции в вертикальном котле-утилизаторе с горизонтальным расположением труб испарителя. Впервые получено экспериментальное подтверждение возникновения естественной циркуляции в контуре с горизонтальным расположением труб испарителя и получены необходимые и достаточные условия возникновения естественной циркуляции. Приведенные результаты являются дополнительным вкладом в формирование физических представлений о работе испарительных контуров вертикальных КУ, а в прикладном значении – создают основу для разработки новых котлов-утилизаторов с естественной циркуляцией для ПГУ.

Практическая ценность работы заключается в апробация способа расчета естественной циркуляции при помощи современных прикладных программ, определении наиболее важных критериев оценки надежности работы циркуляционного контура с горизонтальными трубами испарителя. Автором предложены конструктивные решения, обеспечивающие надежную и эффективную работу испарителя с горизонтальными трубами и разработана конструкция испарительного контура для ряда вертикальных котлов-утилизаторов с естественной циркуляцией.

Основные результаты по теме диссертации представлены в 6 публикациях, в том числе 2-х статьях в журналах, входящих в перечень ВАК, также получен патент №147233 на полезную модель «Контур естественной циркуляции рабочего тела». Кроме того, они широко обсуждались на 4 научных конференциях разного уровня.

Обоснованность выводов и научных положений, а также достоверность полученных результатов не вызывает сомнений. Решения поставленных задач базируются на экспериментальных данных и общепринятых теоретических положениях теплотехники и математического моделирования. Достоверность полученных результатов подтверждается использованием известных положений фундаментальных наук, сходимостью полученных теоретических результатов с данными экспериментов. Достоверность результатов расчетных исследований обеспечивается применением программных продуктов, и их верификации на действующих энергетических объектах

Автореферат полностью соответствует содержанию работы. Текст диссертации аккуратно оформлен, приведенный графический материал достаточно полно иллюстрирует изложение.

Основные замечания по работе

1. В литературном обзоре имеются многочисленные ссылки на источники, опубликованные более 20 лет назад. Мало данных зарубежных

исследований работы котлов-утилизаторов ПГУ (всего 3). Источники [59 – 65] мало относятся к теме диссертационной работы, в них не рассматриваются вопросы естественной циркуляции.

2. Имеются многочисленные отклонения от ГОСТР 7.011 и ГОСТ 7.05, 7.1 в части оформления библиографических ссылок. По всему тексту диссертации и автореферата употребляется обозначение десятичных чисел с точкой после целого числа, тогда как в РФ принято обозначение с запятой.

3. Неясно, какие из предложенных критериев надежности работы испарителей с горизонтальным расположением труб предложены автором. Как они модифицированы по сравнению с Нормативным методом гидравлического расчета котельных агрегатов?

4. Следовало бы сопоставить результаты расчетов, полученные автором диссертационной работы и приведенные в литературных источниках, например в работах ОАО «ВТИ» в части наклонных пучков труб.

5. Затруднен анализ результатов автора, касающихся изменения капитальных затрат, так как отсутствует обоснование расчета затрат на циркуляционный контур. Результаты расчета (таблица 4.3) показывают, что удельные затраты (на один килограмм металла испарителя) разные для разных котлов и всегда больше для котлов с естественной циркуляцией.

6. Отсутствует подробное описание методик расчета, особенно это касается наиболее интересных расчетов в динамических режимах. Нет достаточного описания предложенных автором дополнений к известной программе расчетов.

7. В главе 5 не достаточно описана методика испытаний КУ при пуске без циркуляционного насоса. Нет ответа на вопрос об изменении естественной циркуляции от начала парообразования до стационарного режима работы КУ. Выводы автора о необходимом и достаточном условии для возникновения естественной циркуляции представляется очевидным.

Заключение.

Приведенные замечания не затрагивают существа основных положений, выводов и рекомендаций диссертации. Диссертация Стерхова К. В. является самостоятельной завершенной научно-квалификационной работой, выполненной автором самостоятельно и на высоком научно-техническом уровне. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы. Работа полностью соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (п.9), а ее автор, Стерхов Кирилл Владимирович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.14.14 –Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты.

Официальный оппонент
Доктор технических наук,
старший научный сотрудник,
заведующий лабораторией специальных котлов
отделения парогенераторов и топочных устройств,
ОАО «Всероссийский теплотехнический
научно-исследовательский институт» (ОАО ВТИ),
115280, г. Москва, ул. Автозаводская, 14,
e-mail: GARyabov@vti.ru, georgy.ryabov@gmail.com
тел. (499) 682-93-199

 Рябов Георгий
Александрович

Подпись Рябова Г.А. удостоверяю:

Руководитель отдела
по управлению персоналом



 Белова Евгения Юрьевна