

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента  
на диссертацию Папченкова Анатолия Игоревича  
**«Экспериментальные исследования теплотехнических характеристик  
термосифонов котлов - утилизаторов»,**  
представленную на соискание ученой степени  
кандидата технических наук по специальности  
05.14.04 «Промышленная теплоэнергетика».

### **Актуальность темы диссертации.**

Термосифоны являются эффективными и относительно простыми устройствами быстрой передачи теплоты, отличающиеся от других устройств аналогичного назначения своей автономностью – работой без использования специальных источников энергии. Достаточно масштабное использование термосифонов на предприятиях цветной металлургии во многом обусловлено комплексом их достоинств, обеспечивающих возможность утилизации теплоты отходящих газов. Но область применения термосифонов пока не так велика, как они того заслуживают, в связи с рядом проблем, возникающих при их эксплуатации. Так, например, использование этих устройств в теплоэнергетике и на атомных электростанциях сдерживается в связи с их не самой высокой надежностью при работе в среде химически активных, нагретых до высоких температур газов. Проблема надежности есть и при работе термосифонов на предприятиях цветной металлургии. Для ее решения пока недостаточно знаний о процессах, протекающих как в паровых каналах, зонах испарения и конденсации, так и на поверхностях нагрева. Общей теории гидромеханики и теплопереноса в термосифонах пока не разработано. Также нет достаточной для проведения опытно-конструкторских работ по созданию термосифонов для работы в агрессивных (химически) высокотемпературных средах базы экспериментальных данных. В этой связи сдерживается процесс расширения областей применения термосифонов, возможности которых в решении многих задач энергоэффективности и энергосбережения безусловно велики, как в

традиционных отраслях промышленности, так и там, где они пока не используются как важные элементы систем утилизации теплоты. По этим причинам тема диссертации А.И. Папченкова, целью которой является повышение тепловой эффективности термосифонов при утилизации теплоты вторичных энергоресурсов в виде отходящих высокотемпературных газов и эксплуатационной надежности работы термосифонов котлов – утилизаторов на протяжении всей «кампании металлургической печи» (источника вторичных энергоресурсов), безусловно, актуальна.

В дополнение к выше изложенному можно отметить, что по своим цели, задачам, методам их решения, основным результатам исследования и выводам диссертация А.И. Папченкова в полной мере соответствует приоритетному направлению развития науки, технологий и техники в Российской Федерации «Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика» (утвержден указом Президента РФ № 899 от 07 июля 2011 года). Также диссертация А.И. Папченкова соответствует критической технологии Российской Федерации «Технологии создания энергосберегающих систем транспортировки, распределения и использования энергии».

### **Общая характеристика работы.**

Диссертационная работа А.И. Папченкова состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и пяти приложений. Текст рукописи изложен на 178 страницах (20 таблиц, 56 рисунков). Список литературы включает 103 наименования.

Во введении диссертации автор, как это принято, обосновывает актуальность темы своего диссертационного исследования, формулирует цель и задачи, обосновывает научную новизну и практическую значимость полученных результатов.

В первой главе автор описывает достаточно подробно устройство, конструкцию и принцип действия котлов – утилизаторов с системой термосифонов, установленных в газоходах. Приведена информация о

работающих в настоящее время или проектируемых теплоутилизационных установок с термосифонами. Выделены нерешенные ранее проблемы, возникающие при работе термосифонов в высокотемпературной, химически активной, запыленной среде отходящих газов.

Во второй главе приведено описание объекта исследования – термосифонов установки для утилизации теплоты отходящих газов за отражательной печью №2 медеплавильного комбината ОАО «Святогор» (г. Красноуральск) и методики проведения экспериментов. Подробно описаны использовавшиеся средства регистрации.

Результаты основных экспериментальных исследований автора приведены в третьей главе. Также там представлены и результаты расчетов теплотехнических показателей работы термосифонов. Кроме распределений температур и тепловых потоков в характерных зонах и сечениях термосифона, проведена регистрация характеристик отложений пыли на поверхности термосифона. Определены ее элементный состав, теплопроводность и термическое сопротивление.

В четвертой главе приведен анализ переходных процессов в исследовавшихся термосифонах. Выполнен анализ возможных причин разрыва корпусов термосифонов. Сделан вывод, что основной, скорее всего, является нарушение циркуляции в контуре охлаждения, которое приводит к резкому снижению интенсивности отвода теплоты в зоне конденсации, повышению температуры пара и, соответственно, давления во всем паровом канале. Показано, что увеличение протяженности зоны конденсации паров и регулярные продувки коллектора могут способствовать существенному увеличению показателей надежности и работоспособности рассматриваемых термосифонов и, соответственно, котла – утилизатора в целом. Также показана значимость процесса заполнения термосифонов теплоносителем. Предложено проводить заполнение и герметизацию термосифонов на неработающем газоходе с применением технологии вакуумирования.

В пятой главе приведено описание предлагаемых автором решений, создающих объективные предпосылки для повышения эффективности работы термосифонов. Предложено несколько способов вакуумирования термосифонов, порядок изготовления термосифонов и их заполнения без привязки к запуску металлургического агрегата. В этой же главе приведены данные по эксплуатации термосифонов в течение достаточно длительного периода, иллюстрирующие эффективность реализации предложений автора по совершенствованию технологий подготовки термосифонов к работе. В пятой главе также приведено краткое описание нескольких рекомендаций по совершенствованию технологий подготовки термосифонов к работе.

В заключении сформулированы основные выводы и результаты диссертационного исследования.

#### **Общая методология и методика исследования.**

Методики исследования, использовавшиеся автором диссертации, включают комплекс экспериментальных и расчетных подходов к изучению процессов, протекающих в термосифонах в условиях работы котлов – утилизаторов. Достоинством диссертации является логическое сочетание сложных экспериментов в условиях работы промышленного оборудования, расчетов основных характеристик процессов, протекающих в термосифонах, и разработку рекомендаций по совершенствованию работы последних. Автор диссертации применил современные средства измерений и модифицировал применительно к своим задачам известные и используемые многими исследователями методики измерения температур и тепловых потоков, расширив возможности этих методик на группу процессов, протекающих в паровых каналах и на поверхностях корпусов термосифонов. По результатам анализа и обобщения установленных при проведении экспериментальных и расчетных исследований основных закономерностей исследовавшихся в диссертации процессов А.И. Папченков разработал две полезные модели (приоритет которых закреплен патентами РФ), которые могут использоваться

при подготовке термосифонов к работе. Также А.И. Папченков разработал группу рекомендаций по изготовлению и подготовке к работе блоков термосифонов для котлов – утилизаторов металлургических предприятий.

**Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендации, сформулированных в диссертации.**

Достоверность результатов исследований А.И. Папченкова и, соответственно, защищаемых положений и выводов определяется логикой связи всех этапов его диссертационного исследования. Автором выполнен большой объем достаточно сложных по подготовке, проведению и обработке результатов экспериментальных исследований теплотехнических процессов в термосифонах и на их поверхностях нагрева. При проведении расчетных исследований использованы хорошо апробированные при решении других задач теплопереноса подходы и модели. При регистрации основных характеристик исследовавшихся при проведении экспериментов процессов использовались хорошо апробированные методики и алгоритмы, средства регистрации, прошедшие соответствующую метрологическую экспертизу. Верификация результатов исследований проведена по данным экспериментов. Все основные выводы сформулированы автором на основании детального анализа и последующего обобщения выполненных им экспериментов и расчетов. Результаты, полученные А.И. Папченковым, хорошо апробированы на всероссийских научных и научно-технических конференциях, что также является косвенным обоснованием достоверности и обоснованности основных результатов и выводов, представленных в диссертации А.И. Папченкова.

**Научная новизна полученных результатов.**

А.И. Папченков получил при проведении своего диссертационного исследования ряд результатов, соответствующих критерию новизны. Наиболее значимыми из них являются следующие:

1. Экспериментально определены температуры в характерных зонах парового канала термосифона и его внешней поверхности при высоких

тепловых нагрузках, соответствующих условиям работы котлов – утилизаторов.

2. Получены экспериментальные данные по характеристикам отложений пыли (летучей золы) на поверхностях нагрева термосифонов в условиях высоких концентраций твердых продуктов сгорания в высокотемпературном газовом потоке (элементный состав, теплопроводность, термическое сопротивление).
3. Сформулированы основные положения, характеризующие механизм разрушения термосифонов котлов – утилизаторов при длительной эксплуатации. Рассчитаны предельно допустимые давления в паровом канале термосифона в типичных условиях эксплуатации.
4. Разработана математическая модель переходных процессов для термосифона как объекта регулирования при ступенчатом изменении температуры газов.
5. По результатам анализа и обобщения, выполненных экспериментальных и расчетных исследований, разработаны рекомендации по повышению энергетической эффективности и надежности работы термосифонов, которые могут быть использованы при проектировании и эксплуатации термосифонов котлов – утилизаторов.

#### **Практическая значимость.**

Практическая направленность всего диссертационного исследования А.И. Папченкова достаточно очевидна и подтверждается документами об использовании при проектировании ряда объектов на предприятиях цветной металлургии, а также патентами на полезные модели.

#### **Замечания по диссертационной работе.**

1. Основными значимыми результатами диссертационного исследования А.И. Папченкова являются новые данные, полученные им при проведении достаточно уникальных экспериментальных

исследований. Значимость этих результатов определяется их достоверностью. Последняя же оценивается при анализе систематических и случайных погрешностей определения основных регистрируемых или рассчитываемых по измеренным параметрам характеристикам. Так, например, термопарным измерениям присущи как систематические, так и случайные ошибки (или «неопределенности» по вводимой в последнее время терминологии). Оценка достоверности результатов измерений температур и тепловых потоков из анализа систематических ошибок в таких сложных экспериментах недостаточна. Отсутствие данных о случайных погрешностях результатов измерений снижает оценку значимости этих результатов.

2. При описании результатов экспериментальных исследований автор на стр. 79 рукописи использует выражение «гармонические колебания связаны с работой системы газо – импульсной и ручной очисток», но приведенные на стр. 80 распределения температур (рис. 3.1), о которых так пишет автор диссертации, не могут быть классифицированы как гармонические колебания. Полученные в проведенных экспериментах зависимости температуры от времени не являются следствием периодических детерминированных процессов.
3. Распределения температур на рис. 3.1. – 3.3. (стр. 80-81) построены без использования современных методов статистической обработки результатов экспериментов (например, метода наименьших квадратов). Отклонения значений измеряемой величины – температуры, например, на рис. 3.3. (стр. 81) для кривых 2 и 3 не превышают  $\pm 2,5\%$ , что сопоставимо со случайными погрешностями любых термопарных измерений в сложных условиях регистрации этой характеристики процесса.

4. Во введении на стр. 10 в разделе «Автор защищает» пункт 4 сформулирован «наилучшие технические решения, обобщенные из опыта проектирования и эксплуатации теплоутилизационных установок с термосифонами». Но в списке трудов автора нет патентов на технические решения (способы или устройства), которые обоснованы как «наилучшие» из всего многообразия возможных вариантов.

Сделанные замечания не снижают ценность полученных в диссертации А.И. Папченкова результатов, положений и выводов. Диссертация А.И. Папченкова является законченной научно-квалификационной работой, выполненной автором самостоятельно, содержит результаты экспериментальных и расчетных исследований, соответствующие критерию новизны.

Диссертация А.И. Папченкова соответствует специальности 05.14.04 – промышленная теплоэнергетика в части области исследования (приведена в паспорте специальности) «Разработка научных основ сбережения энергетических ресурсов в промышленных теплоэнергетических установках и использующих тепло системах и установках» и содержит новые научно обоснованные технические решения для разработки термосифонов котлов-утилизаторов, что вносит существенный вклад в развитие промышленности России. Автореферат диссертации полностью соответствует тексту рукописи, которая написана правильным русским языком, в доказательном стиле и хорошо иллюстрирована. Автор диссертации опубликовал 3 статьи в журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ для публикации материалов кандидатских и докторских диссертаций, является соавтором одной монографии, получил 2 патента на полезные модели по теме диссертации.



### Заключение о соответствии диссертации критериям.

На основании анализа содержания рукописи и автореферата диссертации А.И. Папченкова «Экспериментальные исследования теплотехнических характеристик термосифонов котлов - утилизаторов» можно сделать обоснованное заключение о ее соответствии требованиям п.9 Положения о присуждении ученых степеней (утверждено постановлением Правительства Российской Федерации от 21.04.16 г. № 335), а ее автор Папченков Анатолий Игоревич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.04 – промышленная теплоэнергетика.

Официальный оппонент,  
Главный научный сотрудник  
НОЦ И.Н. Бутакова  
Инженерной школы энергетики  
Федерального государственного автономного  
образовательного учреждения высшего образования  
Национального исследовательского  
Томского политехнического университета,  
доктор физико-математических наук,  
профессор

Генерал  
Ку

Кузнецов Гений Владимирович

30.11.2018

Адрес: 634050, г. Томск, пр. Ленина, д.30,  
ФГАОУ ВО НИ ТПУ  
E-mail: [marisha@tpu.ru](mailto:marisha@tpu.ru)  
Сайт: <http://tpu.ru/>  
тел.: 8(3822)606-248

Подпись Г.В. Кузнецова удостоверяю:

Ученый секретарь Национального  
исследовательского Томского  
политехнического университета



Ананьева Ольга Афанасьевна