

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора технических наук, доцента, ведущего научного сотрудника ФГБУН Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН г. Новосибирск, заведующего кафедрой теплоэнергетики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева», г. Кемерово,

Богомолова Александра Романовича

на диссертационную работу Нурпейиса Атланта Едилулы по теме **«Экспериментальное исследование и математическое моделирование процессов теплопереноса в замкнутых двухфазных термосифонах»**, представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.04 – Промышленная теплоэнергетика.

Актуальность темы диссертационной работы.

Результаты исследований теплопереноса в замкнутых двухфазных термосифонах показывают, что наибольшее значение имеет оценка установления их оптимальной производительности и влияния на их работу эффективной теплопроводности. Автор работу утверждает, что эта характеристика дает интегральную оценку производительности термосифона и не является базой для анализа закономерностей теплопереноса, а более значимой является достоверная информация о температурных полях в характерных зонах термосифона.

Указано, что измерение температур внешних поверхностей недостаточно для анализа процессов, протекающих в зонах испарения (кипения), конденсации и в паровом транспортном канале.

Измерение распределений наиболее значимых характеристик процессов, протекающих в термосифоне (температур жидкости и пара) при рабочих температурах испарения и температурах кипения (высоких тепловых нагрузках), является актуальной.

Теоретические исследования гидродинамических и тепловых процессов в термосифонах проведены в большинстве случаев с использованием коммерческих вычислительных пакетов типа Comsol и ANSYS FLUENT, которые сопряжены с длительными вычислениями даже при описании исследуемых процессов в рамках двумерных постановок.

В связи с этим, актуальна разработка менее сложных математических моделей нестационарного теплопереноса в двухфазном термосифоне с целью описания процессов переноса теплоты с учетом фазовых переходов на границах раздела сред «жидкость – пар» и «пар – жидкость» при подводе теплоты к нижней крышке термосифона и отводе теплоты при его конденсации в верхней зоне, соответственно.

Результаты такого рода исследований, несомненно, будут востребованы,

т.к. для успешной работы современного энергетического оборудования важное значение имеет эффективный отвод теплоты от отдельных тепловыделяющих элементов, их поверхностей и интегральных модулей. Применение традиционных способов охлаждения циркулирующей водой или потоками воздуха не всегда осуществимо, но всегда энергетически затратно. Это связано с тем, что возникает необходимость использования развитых теплообменных поверхностей для отвода больших тепловых потоков. Постановка таких задач во многом определяется необходимостью решения проблемы тепловой защиты оборудования, возможностью регулирования (в рабочем диапазоне) температур машин и аппаратов, применением эффективных способов передачи и трансформации тепловой энергии. Перегрев даже отдельных элементов технических систем в условиях выхода из строя используемого для отвода теплоты оборудования может привести к аварийному режиму работы всей установки. Целесообразным в этой связи является анализ возможности использования автономных (независящих от источников электроэнергии) отводящих тепло устройств.

Следует отметить, что диссертация А.Е. Нурпейиса по основным отличительным признакам (цель, задачи, методы исследования, защищаемые положения, результаты, ориентация на решение практических задач теплоэнергетики) соответствует приоритетному направлению развития науки, технологий и техники в Российской Федерации «Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика» (перечень этих направлений утвержден Указом Президента РФ 07 июля 2011г. N 899).

Общая методология и методика исследования.

Диссертационная работа А.Е. Нурпейиса изложена на 157 страницах, состоит из введения, трех глав, основных результатов и выводов, списка литературы и одного приложения. В работе процитировано 198 литературных источника (как отечественных, так и зарубежных), что свидетельствует о хорошей проработке диссертантом научной литературы по теме работы.

Работа А.Е. Нурпейиса является экспериментальной по существу, но с применением математического моделирования нестационарного теплопереноса в двухфазном термосифоне. Автор работы приводит как экспериментальные, так и теоретические обобщения по результатам полученных им при выполнении диссертационного исследования новых экспериментальных и расчетных данных.

В работе А.Е. Нурпейисис использует численные методы исследования с помощью разработанных методик расчета. Приведены физическая и математическая постановка задач, которые сводятся к решению теплопереноса за счет кондукции и конвекции для слоя теплоносителя на нижней крышке, теплопроводности для верхней и нижней крышек и слоя конденсата на верхней крышке. Связь между испарением и конденсацией осуществлена через массовую скорость испарения жидкости.

Приведены результаты численного анализа основных закономерностей процессов термогравитационной конвекции в двухфазных термосифонах, иллюстрирующие возможность применения разработанной в диссертации математической модели и метода решения задачи свободно конвективного теплопереноса при прогностическом моделировании работы термосифона.

Полученные результаты экспериментального исследования и математического моделирования, а также предложенное техническое решение, дают возможность решить актуальную задачу теплоэнергетики по созданию систем теплоснабжения будущего на основании использования геотермальной и петротермальной энергии.

Таким образом, на основе достаточного анализа предметной области работы, адекватной постановки научной проблемы и частных задач исследования, корректного применения методов исследования получены достоверные и обоснованные результаты.

Научная новизна полученных результатов. Наибольшее значение для науки (и практики в будущем) имеют результаты экспериментальных исследований А.Е. Нурпейиса и сформулированные после их анализа и сопоставления с результатами численного моделирования обобщения выводы.

Впервые по результатам экспериментальных исследований установлены закономерности изменения температуры в характерных сечениях парового канала, зон испарения и конденсации типичного термосифона.

По результатам анализа и обобщения экспериментальных данных разработана физическая модель теплопереноса в двухфазном термосифоне.

Установлены основные характеристики процессов теплопереноса в двухфазном термосифоне в рамках математической модели, существенно отличающейся от известных и учитывающей процессы свободноконвективного теплопереноса и фазовые превращения в зоне испарения, теплопроводности и фазовые превращения в зоне конденсации, при тепловых потоках, соответствующих условиям работы энергетического оборудования.

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

Работа А.Е. Нурпейиса является экспериментальной с использованием численного моделирования. Автор применил современные методики и регистрирующую аппаратуру. Полученные результаты не противоречат существующим базовым физическим законам термодинамики и теплопереноса. Проведен анализ погрешностей результатов измерений при различных тепловых потоках в рамках современной теории ошибок с использованием методов математической статистики. Установлено удовлетворительное соответствие температур в термосифоне, полученных в экспериментах, и результатов теоретических исследований автора диссертации.

Достоверность последних подтверждается также тестированием используемых метода и алгоритма решения на менее сложных задачах, результаты решения которых опубликованы в ведущих специализированных журналах.

Таким образом, можно утверждать о достоверности полученных результатов.

Практическая значимость.

Диссертационное исследование А.Е. Нурпейиса представляет в части результатов, выводов и защищаемых положений материал, безусловно, необходимый для проведения опытно-конструкторских работ по перспективам применения теплообменника в системах охлаждения силовых трансформаторов тепловых электрических станций и для извлечения геотермальной энергии с больших глубин с использованием каскада термосифонов.

Разработанные физические и математические модели теплопереноса в двухфазных термосифонах могут быть использованы при разработке систем охлаждения энергетического оборудования на базе двухфазных термосифонов.

Практическая значимость результатов работы подтверждена получением 2-х патентов на полезную модель и одобренных 2-х заявок на полезную модель.

Замечания вопросы по диссертационной работе.

1. На с. 34 указано, что начальная температура жидкости поддерживалась на уровне 298 К. В представленных результатах экспериментальных исследований 2.3.1, 2.3.2, 2.3.3 начальные температуры при времени 0 с значительно отличались от температуры 298 К. Следует оценить зависимость теплоемкости используемых жидкостей от температуры и сделать соответствующие выводы.

2. На с. 51 автор утверждает, что гидродинамические процессы в паровом канале не играют большой роли в переносе теплоты по ТС. В учебнике для вузов: Бакластов, А. М. Промышленные тепломассообменные процессы и установки. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 328 с. на с. 75 отмечено, что гидравлическое сопротивление по пару при теплопередающей способности $Q = Gr$ ограничивает тепловую мощность.

3. Автору следует уточнить понятие тепловой проводимости (с. 63), используемой при оценке эффективности термосифонов, а также «эффективной» теплопроводности (с. 126), используемой при численном моделировании.

4. При рассмотрении раздела 3.5 отсутствует рис. 3.5.1.

5. Экспериментальный стенд оснащен датчиком давления, термопарой на наружной поверхности верхней крышки ТС, но в диссертационном исследовании значения этих данных не приведены. С какой целью проведены

измерения этих величин, не участвующие в расчетах, и почему не измерялась температура в пространстве стеклянного бокса?

6. В связи с чем не проведены расчеты массового потока паровой фазы при различных тепловых нагрузках и коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности верхней крышки, в то время как при численном моделировании коэффициент теплоотдачи принят (с. 99) $5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, а массовая скорость испарения определялась по температуре поверхности испарения и тепловому потоку (с. 75)?

7. Как определяли герметичность термосифона и присутствие/отсутствие неконденсирующихся газов в нем? В работе не отражен этот вопрос.

8. Следует указать причину более интенсивного испарения Н-пентана на границе сред «жидкость-пар» по сравнению с водой при адекватном подводе теплоты (с.55). Оцените степень интенсивности.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

Заключение

Несмотря на приведенные замечания, диссертация Нурпейиса Атланта Едилулы соответствует специальности 05.14.04 – Промышленная теплоэнергетика, имеет внутреннее единство и является завершённой научно-квалификационной работой, в которой, на основании выполненных автором исследований изложены научно обоснованные технические разработки, представляющие значительный интерес в области процессов теплопереноса в замкнутых двухфазных термосифонах, в перспективе, для использования при отводе тепла от энергетического оборудования. Впервые, по результатам экспериментальных исследований установлены закономерности изменения температуры в характерных сечениях парового канала, зон испарения и конденсации типичного термосифона.

Диссертация соответствует требованиям п.8, п.9, п.10 Порядка присуждения ученых степеней в Национальном исследовательском Томском политехническом университете, а её автор Нурпейис Атлант Едилулы достоин присуждения учёной степени кандидата технических наук.

Официальный оппонент,
доктор технических наук, доцент
(специальность 01.04.14 - «Теплофизика и теоретическая теплотехника»),
ведущий научный сотрудник
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе
Сибирского отделения Российской академии наук (г. Новосибирск)
заведующий кафедрой теплоэнергетики

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева», г. Кемерово

Богомолов Александр Романович

Подпись заверяю

*Член секретариата
Совета*



Адрес: Россия, 630090, Новосибирск, просп. Академика Лаврентьева, д.1.
650000, Кемерово, ул. Весенняя, д.28

E-mail: barom@kuzstu.ru

тел. +

Россия, 630090, г. Новосибирск,
проспект Академика Лаврентьева, д. 1.

ТЕЛ.: +7(383) 330-90-40

ФАКС: +7(383) 330-84-80

E-mail: director@itp.nsc.ru

Web: <http://www.itp.nsc.ru>

Россия, 650000, Кемерово, ул.
Весенняя, д.28

ТЕЛ.: +7(3842) 68-23-14

ФАКС: +7(3842) 39-69-60

E-mail: rector@kuzstu.ru

Web: <https://www.kuzstu.ru>