



Минобрнауки России  
Федеральное государственное  
бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский  
университет «МЭИ»  
111250, Россия, Москва,  
Красноказарменная ул., 14,  
Тел.: (495) 362-75-60, факс: (495) 362-89-38  
E-mail: universe@mpei.ac.ru  
<http://www.mpei.ru>

№ \_\_\_\_\_

«\_\_\_\_\_» 20\_\_ г.

## ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертацию Мамыкина Андрея Дмитриевича

«Турбулентный теплоперенос при конвекции натрия в  
длинных цилиндрах» представленную на соискание  
учёной степени кандидата физико-математических  
наук по специальности 01.02.05. – Механика  
жидкости, газа и плазмы

В настоящее время интерес к вопросам тепломассопереноса жидких металлов вызван как задачами металлургии, так и применением металлов в качестве теплоносителей в ядерных, термоядерных и космических энергетических установках. Жидкий натрий используется как теплоноситель в реакторных установках на быстрых нейтронах. Известно, что при определенной компоновке трубопроводов, в них может возникать свободная конвекция натрия, приводящая к прогреву трубопроводов и значительному теплопотоку даже при отсутствии прокачки. В связи с этим важными становятся результаты опытов по исследованию свободной конвекции жидкого натрия в длинных замкнутых цилиндрических сосудах, ориентированных под разными углами к направлению силы тяжести.

Таким образом, тема диссертации Мамыкина Андрея Дмитриевича, посвященная экспериментальному изучению турбулентного теплопереноса при конвекции натрия в замкнутых цилиндрических полостях, расположенных под различными углами к направлению силы тяжести, несомненно является сегодня весьма актуальной.

## **Структура и объем диссертации.**

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы, содержащего 124 наименования. Объем диссертации составляет 145 страниц, 42 рисунка и 4 таблицы.

## **Содержание работы**

**В первой главе** представлен обстоятельный обзор публикаций по теме диссертации. Рассмотрены особенности развитой турбулентной конвекции Релея-Бенара, а также различные теории, задача которых обобщить накопленные экспериментальные и расчетные данные.

**Вторая глава** диссертации посвящена достаточно подробному описанию экспериментальной установки и методики измерений характеристик потока. Экспериментальная установка включает два цилиндрических канала: «короткий канал» (отношение длины к диаметру  $L/D \approx 5$ ) и «длинный канал» ( $L/D \approx 20$ ), что позволяет сопоставить две геометрии течения.

**В третьей главе** представлены результаты двух циклов экспериментов на «коротком канале». С помощью полученных результатов проведена верификация численных моделей, разработанных в ОКБМ «Африкантов» и в лаборатории физической гидродинамики ИМСС Уро РАН.

**В четвертой главе** представлены экспериментальные результаты для «длинного» цилиндра. Изучались режимы с разными числами Релея для цилиндра, наклоненного на 0, 45 и 90 градусов от вертикали. Показано, что наиболее эффективный теплоперенос, также как и в случае с первым цилиндром, наблюдался для наклонного положения. Автором получена зависимость числа Нуссельта от чисел Релея и Прандтля.

## **Научная новизна результатов**

В работе экспериментально исследована турбулентная конвекция жидкого натрия в длинных цилиндрических полостях, расположенных под различными углами к вертикали. Получены зависимости чисел Нуссельта и Рейнольдса от чисел

Релея, Прандтля и Грасгофа для длинных цилиндров при различной ориентации к направлению силы тяжести.

Подробное исследование зависимости эффективности теплообмена от угла наклона проведено для цилиндра с отношением длины к диаметру, равному 20; число Нуссельта в исследованном диапазоне углов наклона изменяется на порядок с максимумом при наклоне от вертикали около  $65^\circ$ . Получено, что в случае более протяженного цилиндра значения степени в зависимости числа Нуссельта от числа Релея больше, чем в случае менее протяженного, и значительно превосходят известные значения степени для задачи Релея-Бернара.

### **Теоретическая и практическая значимость.**

Экспериментальные данные автора были использованы для верификации CFD кодов в ОКБМ «Африкантов», а также для тестирования численных моделей в лаборатории физической гидродинамики ИМСС Уро РАН. Полученные зависимости влияния угла наклона и относительной длины цилиндра на теплоперенос могут быть полезны при проектировании различных технологических устройств, в частности, узлов контуров охлаждения нового реактора на быстрых нейтронах БН-1200.

### **Обоснованность и достоверность результатов**

Обоснованность и достоверность полученных автором результатов обеспечивается тщательным тестированием методов измерений, использованием высококачественного измерительного оборудования, а также сравнением, где это возможно, с экспериментальными и теоретическими результатами других авторов.

**Результаты работы были представлены на 10 международных и российских конференциях и семинарах. По теме диссертации опубликовано 17 научных работ , 4 из них в рецензируемых изданиях по перечню ВАК РФ.**

Следует особо отметить большой объем выполненных автором экспериментов, проведенных при высоких температурах в химически агрессивной среде.

## Замечания по работе

1. По мнению оппонента, физические выводы в работе вполне разумны, однако построены на ограниченном экспериментальном материале, а именно – на температурных измерениях и корреляционных измерениях термопарами, помещенными в фиксированные точки потока. К сожалению, не удалось применить кондукционные датчики скорости из-за влияния термо-ЭДС на показания датчиков. Однако в списке литературы приведена работа МЭИ, в которой успешно применены кондукционные датчики с компенсацией термо-ЭДС. Хотелось бы посоветовать автору использовать опыт коллег из МЭИ в дальнейших экспериментах.
2. В тексте диссертации не приведены графики тарировки и амплитудно-частотные характеристики термопар, а также не дана оценка точности определения скорости по методу кросскорреляции. По мнению оппонента для применения кросскорреляционного метода измерения скорости термопары были установлены на слишком большом расстоянии друг от друга. Поэтому измерялся скорее средний расход натрия.
3. В диссертации не приведено физического объяснения того, что наиболее эффективный теплообмен (максимальное число Нуссельта) регистрируется при наклоне цилиндра на 65 градусов от вертикали. Хотелось бы услышать соображения автора на эту тему.

Сделанные замечания не влияют на общую оценку работы.

В целом работа является законченной, обладает научной новизной, несомненной теоретической и практической значимостью. Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, обоснованы, также как их достоверность и новизна. Работа завершена, ее основные результаты опубликованы в научных изданиях и представлялись на всероссийских и международных конференциях.

Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертации.

Диссертация Мамыкина Андрея Дмитриевича является завершенной научно-квалификационной работой, удовлетворяющей требованиям пункта 9 «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Материалы диссертационной работы соответствуют выбранной специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы», а ее автор Мамыкин Андрей Дмитриевич заслуживает искомой степени.

Я, Свиридов Валентин Георгиевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент,  
профессор кафедры

Инженерной теплофизики, д.т.н.  
т. (495) 362-7674, e-mail: SviridovVG@mpei.ru

Свиридов Валентин Георгиевич

21.11.2016

Подпись сотрудника «НИУ «МЭИ»

Свиридова В.Г.

удостоверяю

Зам. Начальника управления

по работе с персоналом

Баранова Елена Юрьевна

*21.11.2016*

ФГБОУВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Россия, 111250, Москва, ул. Красноказарменная, д. 14

т. (495) 362-7560, e-mail: universe@mpei.ac.ru