

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Яссина Халила Фархана Яссина «Ламинарный свободно-конвективный теплообмен в вертикальном канале с отрывом потока», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальностям 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника

Интерес к задаче о свободной конвекции между двумя параллельными пластинами возник практически 100 лет назад, активно исследовался и данная задача стала к настоящему времени классической и ей посвящено огромное число теоретических и экспериментальных работ. Большой вклад в решение этих проблем внесен российскими исследователями [Остроумов Г.А., Полежаев В.И., Леонтьев А.И., Попов И.А., Кирдяшкин А.Г., Бердников В.С., Мартыненко О.Г., Смирнов Е.М., Терехов В.И., Черкасов С.Г., Чумаков Ю.С., Шеремет М.А. и др.]. Отметим ряд фундаментальных работ, выполненных зарубежными учеными [Elenbaas, Bar-Cohen & Rosenhow, Olsson, Frederick, Jaluria, Tanda, Audin, Ekaid и др.]. Однако отсутствие систематических данных при малых числах Релея и особенно в очень высоких прослойках, а также наличие в них отрыва потока за различными преградами является «белым пятном» в этой проблеме, в то время как существует большая практическая потребность подобных исследований. Определяющую роль в решении сложных задач аэромеханики и теплообмена приобретает численный эксперимент, что составляет основной инструмент для исследований в настоящей работе.

Задачи свободной конвекции в вертикальных каналах при различных условиях на стенках применимы к проблемам расчета и проектирования дымовых труб, систем пассивного охлаждения в ядерной энергетике, термосифонов, градирни, систем пассивного охлаждения электронного оборудования, строительных ограждающих конструкций и т.д.

Тема рассматриваемой диссертации находится в русле приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в РФ (8. Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика).

Таким образом, тематику представленной диссертации следует признать актуальной.

Научная новизна работы состоит, прежде всего, в том, что:

1. Впервые проведены численные исследования свободно – конвективного течения и теплообмена в вертикальных каналах с открытыми границами в широком диапазоне чисел Релея, относительной

высоты канала, а также при наличии симметрично и не симметрично установленных адиабатных ребер.

2. В каналах с адиабатными стенками обнаружен режим инверсии, когда расход газа через канал не зависит от высоты ребра. Показано, что основной причиной снижения интегрального теплообмена и конвективной тяги (до порядка величины) в оребренных каналах является рост трения на стенках канала за счет внезапного сужения и отрыва потока.

3. Получены новые данные для ламинарной свободной конвекции в канале с изотермическими стенками. Использование модифицированных значений чисел Релея и Рейнольдса позволило обобщить численные данные для каналов различной длины и различного уровня термогравитационных сил. Исключение составляет область малых чисел Релея, причины которого требуют более детальных исследований.

Обоснованность и достоверность полученных автором результатов основывается на использовании апробированных методов и подходов расчетных исследований, верификацией полученных результатов на основе сравнения с литературными экспериментальными данными.

Практическая значимость работы заключается в следующем: Разработана методика моделирования процессов течения и теплообмена при ламинарной свободной конвекции в вертикальных протяженных каналах с неизвестными границами на входе. На базе полученных данных проведен анализ влияния основных параметров на конвективную тягу и интегральный теплоперенос. Обобщение полученных результатов позволяют проводить инженерный анализ режимов с интенсифицированным теплообменом. Несомненную ценность представляют и разработанные автором компьютерные коды, алгоритмы численного исследования и программы, зарекомендовавшие себя как надежный метод изучения свободно конвективного теплообмена, в большей части заменяющий дорогостоящие экспериментальные или натурные исследования.

Апробация работы включает в себя обсуждение результатов работы на на XXXIII Сибирском теплофизическом семинаре (Новосибирск, 2017); 11-th Int. Forum on Strategic Techn. (IFOST), (Novosibirsk, 2016); 9th Int. Symp. Advances in Comp. Heat Transfer (ICHMT), (Cracow, Poland, 2016); III and IV Int. Seminar with elements of scientific school for young scientists (ISHM) (Novosibirsk, 2016, 2017); XV Минском международном форуме по тепло - и массообмену (Минск, Беларусь, 2016), 16th Int. Heat Transfer Conf., ИТС-16, (Beijing, China, 2018).

Структура диссертации состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 187 наименований, содержит 139 страниц текста, включая приложение, 80 рисунков, 3 таблицы.

Во введении рассмотрена общая постановка проблемы, обоснована актуальность ее решения, сформулированы цель и задачи работы, а также методы ее решения. Продемонстрирована научная новизна поставленных

задач и их практическая значимость, приведены основные положения диссертации.

В первой главе проведен критический обзор и анализ научной литературы, посвященной исследованиям свободной конвекции в вертикальных каналах с открытыми границами. Установлено, что данной проблеме уделялось большое внимание и, особенно в последнее время, численным исследованиям. Слабо проработанными являются случаи предельно низких и высоких каналов. Показано, что отрывные течения в каналах с преградами также являются мало изученными.

Во второй главе проведена физико-математическое постановка задачи о ламинарном свободно-конвективном течении и теплообмене в двухмерной постановке в вертикальных гладких и оребренных каналах с адиабатическими или изотермическими стенками. Численные исследования проводились на основе решения двумерных стационарных уравнений Навье-Стокса и уравнения энергии в приближении Буссинеска. Рассматриваемая краевая задача имеет неизвестные граничные условия на входе и на выходе между пластинами. Для дискретизации уравнений движения и энергии используется метод конечного объема. Система алгебраических уравнений решается методом развертки неявно линейной схемой исключения Гаусса. Для приближения конвективных членов в уравнениях движения и энергии используется гибридная схема потока. Численная реализация системы базовых дифференциальных уравнений с граничными условиями выполнена на языке программирования Fortran. Для связи скорости и давления применялся алгоритм SIMPLE. В работе использовалась не равномерная сетка со сгущением к стенкам и преградам. Численный алгоритм прошел многоэтапное тестирование на сеточную сходимость, а также с классическими литературными данными. Проведенная оценка неопределенности результатов по интегральным характеристикам не превышала 1,2%, что говорит в пользу достоверности результатов.

В третьей главе представлены результаты численных расчетов течения в канале с адиабатическими стенками. Результаты расчета параметра конвективной тяги (числа Рейнольдса) при вариации числа Ra и высоты канала AR представлены показали, что число Рейнольдса возрастает по мере увеличения числа Релея. При этом делается важный вывод, что в области малых чисел Релея короткие каналы являются более эффективными с точки зрения увеличения тяги. При больших числах Релея, наоборот, число Рейнольдса или расход газа возрастают по мере увеличения высоты канала. Здесь еще необходимы объяснения! Граничная область, где конвективная тяга практически не зависит от высоты канала, приходится на числа Релея в диапазоне $Ra \sim 350 \dots 400$. Этот режим, при котором величина расхода газа не зависит от высоты трубы, назван точкой инверсии конвективной тяги. Наличие подобного режима инверсии ранее в литературе не отмечалось, и этот вопрос требует более глубокой проработки. Также показано (рис.3.2), что в коротком канале при высоких

числах Рэлея ($Ra = 10^5$) практически по всей высоте имеется зона обратных течений вдоль стенок канала. Наличие данного явления ранее отмечалось в литературе, как продвижение вверх по каналу отрывной зоны на выходе из канала. При этом в канале могут возникать низкочастотные пульсации потока, что не было получено при стационарной постановке задачи.

В четвертой главе анализируются результаты численного эксперимента по изучению течения и теплообмена в высоких вертикальных каналах с изотермическими стенками при вариации числа Рэлея в широких пределах. Показано, что интегральный теплообмен с увеличением длины канала уменьшается во всем диапазоне чисел Рэлея. Однако, темп снижения в области высоких чисел Рэлея менее значителен, чем при малых. Объяснением этому служит тот факт, что значительную часть протяженных каналов занимает область с очень низким уровнем теплоотдачи, в то время как размер зоны с эффективным теплообменом практически остается одним и тем же для каналов различной длины.

Необходимо отметить, что при малых числах Рэлея ($Ra < 10^3$) рост термогравитационных сил за счет увеличения поверхности теплообмена компенсируется потерями на трение. Поэтому в этой области чисел Ra расход газа сквозь канал практически не зависит от его высоты. Более того, при малых удлинении ($AR < 10$) вначале наблюдается небольшое понижение расхода газа, а затем его стабилизация. В области больших чисел Рэлея ($Ra > 10^3$) расход газа через канал возрастает по мере увеличения высоты канала, что говорит о преобладающем эффекте подъемных сил по сравнению с трением. Отмеченные особенности поведения тепловых и динамических характеристик при вариации уровня термогравитационных сил являются важными при оптимизационном анализе каналов с параллельными стенками различной протяженности.

В главе показана попытка обработки данных расчета в виде зависимости среднего числа Нуссельта от модифицированного числа Рейнольдса.

В пятой главе представлены результаты цикла численных исследований течения и теплообмена в канале с изотермическими стенками при наличии в них отрыва потока. Это очень важная в научном и техническом плане проблема в настоящее время изучена очень слабо.

Исследования проведены при установке ребер на обоих и на одной их стенок канала. При наличии ребра интенсивность теплообмена уменьшается в области торможения перед ребрами. В точке соединения ребер с поверхностью в угловых зонах течение практически отсутствует, поэтому теплопередача здесь близка к нулю. Обратный поток, который в виде вихря протекает вдоль стенки, образуется в зоне позади ребра. Однако типичного распределения теплоотдачи за точкой отрыва не наблюдается, и передача тепла не достигает уровня безотрывного потока. Подобные эффекты имеют место и при установке ребра на одной стенке с той лишь разницей распределения теплообмена по высоте противоположных стенок отличаются между собой. На стенке с ребром в

окрестности отрыва потока интенсивность теплоотдачи снижается, а на противоположной, наоборот, заметно подрастает из-за ускорения потока в месте его пережима.

Конвективная тяга и теплоотдача могут зависеть от места расположения препятствия от входа в канал. Интегральный теплообмен и конвективная тяга, как показали расчеты, максимальны при установке ребра посередине канала и минимальны на входе.

Одним из эффективных методов обобщения является использования классического представления данных по теплоотдаче в зависимости от числа Рейнольдса. В работе предложены расчетные зависимости для инженерных расчетов теплоотдачи в каналах с препятствиями.

Заключение на одной странице суммирует выводы по работе.

В целом, диссертация производит положительное впечатление. Изложение материала хорошо структурировано и систематизировано, автор использует общепринятые специальные термины и предлагает свои. Совокупность приведенных данных и результатов с уверенностью позволяет судить о квалификационной состоятельности диссертационной работы.

Диссертация соответствует паспорту специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника по п. 5 «Экспериментальные и теоретические исследования однофазной, свободной и вынужденной конвекции в широком диапазоне свойств теплоносителей, режимных и геометрических параметров теплопередающих поверхностей.

Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертационной работы.

По представленной диссертационной работе имеется ряд вопросов и замечаний.

1. Автором поставлены 3 основные задачи исследования, но при этом отсутствует четкая формулировка единой цели работы.

2. В работе показано, что при больших высотах канала ($AR=200$) с ростом Ra на выходе из канала в него проникает и продвигается вниз канала возвратное течение. Но с уменьшением высоты канала до $AR=5$ при высоких Ra ($=10^5$), возвратное течение вдоль стенок уже достигает входа в канал. Это может быть важно для практических задач и отмечалось в литературе. Например, это может вызвать пульсации восходящего потока, и полностью изменить газодинамику дымохода. Но выявленный факт автор не обсудил в работе. Кроме этого, в первой главе автор указал на важность несимметричных граничных условий на выходе из канала, например, имитацию ветра, которая тоже вносит сильные изменения в газодинамику потока в вертикальной канале. Было бы целесообразно рассмотреть и данные задачи.

3. Выводы к главе 3 содержат фразу, что получены результаты для инженерных расчетов газодинамики свободноконвективных течений между двумя параллельными адиабатными стенками. Но глава содержит только результаты и их графическое представление полей давления и

скоростей. Расчетных формул, списка рекомендаций и прочих характерных данных нет. Есть сопоставление с простейшими одномерными гидростатическими моделями. Однако рис. 3.11 и по тексту сказано, что они относительно справедливы только для случая низких каналов ($AR=5$).

4. В главе 3 рассматривается случай «самотяги» в канале между двумя параллельными адиабатными пластинами, возникающей из-за разницы плотностей (температур) на концах вертикального канала. На рис.3.2 и 3.3, например, мы видим характерные распределения скоростей поперек канала, по форме схожие с установившимся канальным течением в условиях вынужденной конвекции. Однако в главе 4 рассматривается случай свободно-конвективного течения в канале между двумя параллельными изотермичными пластинами, возникающего из-за нагрева потока от стенок при равенстве температур среды на входе и выходе в канал. Более того, на рис. 4.2 и рис. 4.3, например, вновь реализуется параболический профиль скоростей на входе в канал при относительных высотах $AR=1$ и 100 . Подобный профиль обычно характерен для узких длинных каналов на выходе, когда свободно-конвективные пограничные слои смыкаются по максимумам скорости в них. Но на входе течение еще формируется, также как пограничные слои, еще может реализоваться режим развития пограничных слоев на двух независимых пластинах – как получился такой профиль? На этих же рисунках есть профили температур, где четко видно начало развития теплового пограничного слоя (с «холодным» центральным потоком) при $AR=100$, но при $AR=1$ – поток практически весь прогрет по ширине канала – требуется объяснение.

5. Формулы (5.1) и (5.2) предлагаются автором для расчета теплоотдачи в зависимости от числа Рейнольдса для каналов с изотермическими стенками при наличии выступов. Однако не указано, в каком диапазоне определяющих режимных и геометрических параметров они справедливы, ведь в данной параграфе 5 рассматривается несколько случаев геометрий канала – симметричное расположение выступов, одностороннее расположение, различная относительная высота канала и выступов, различная относительная высота расположения выступов по высоте канала. Предлагаемые формулы этого не учитывают и по тексту не оговаривается диапазон их применимости.

6. По тексту диссертации используется термин относительная высота выступа $l/w=0-0,4$. Однако очень часто по тексту и на рисунках главы 3 автор ошибочно пишет $l=0-0,4$, а ведь высота выступа l размерная величина.

Вышеприведенные замечания и вопросы не меняют общей оценки рассматриваемой работы, которая является законченным научным исследованием по газодинамике и теплообмену свободно-конвективного течения в вертикальном канале с отрывом потока и отвечает предъявляемым квалификационным требованиям. Диссертация Яссина Х.Ф.Я. «Ламинарный свободно-конвективный теплообмен в вертикальном

канале с отрывом потока», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, полностью соответствует п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, а ее автор - Яссин Халил Фархан Ясин - заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника.

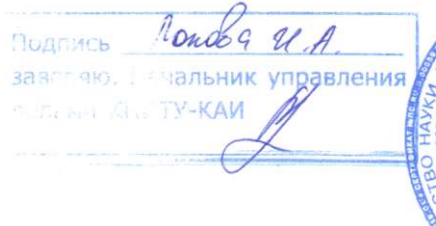
Профессор кафедры «Теплотехника
и энергетическое машиностроение»
ФГБОУ ВО «Казанский национальный
исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева-КАИ»
д.т.н., проф.



Попов Игорь
Александрович

«19» января 2019 г.

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ»
Адрес организации: 420111, г. Казань, ул. К. Маркса, 10
тел/факс: (843) 238-55-50 / 231-01-02
e-mail: popov-igor-alex@yandex.ru

Подпись Попов И.А.
заведующий, начальник управления
по развитию ИТ-КАИ





Гоступил в совет 24.01.19
Уч. секретарь ДС Коз
/Борисов О.В./

Я, Попов Игорь Александрович, даю согласие на включение своих персональных данных в документах, связанных с защитой диссертации Х.Ф.Я. Яссина и их дальнейшую обработку.



С отзывом ознакомлен

24.01.2019


Яссин Х. Ф.