

## **О т з ы в**

**официального оппонента на диссертационную работу Дорж Даваацэрэна по теме "Газодинамика и теплообмен при соударении закрученных газовых струй", представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14- теплофизика и теоретическая теплотехника.**

Диссертационная работа Д. Даваацэрэна посвящена актуальной проблеме управления энергетическими процессами, использующими соударяющиеся закрученные газовые низко- и высокотемпературные струи (факелы). В работе диссертантом рассмотрены научные задачи, а также ряд технических и практических задач - разработка на основе полученных данных новой концепции нетрадиционной горелочной установки и автоматизированного управления технологическими процессами, в которых применяются взаимодействующие закрученные газовые струи и факелы.

Для решения поставленных в работе задач автор использует современные измерительные средства и методики - тепловизор NEC TH-9100, с помощью которого получались временные развертки тепловых полей, компьютерные программы обработки массивов данных, спектральный анализ термограмм и др. С помощью указанных методик автором уточнен и проанализирован большой массив данных о структуре тепловых полей, формирующихся при столкновении нагретых низкотемпературных струй.

В работе изучена термическая структура области соударения закрученных газовых струй, т. е. в зоне взаимодействия. Установлено, что для низкотемпературных струй существует два основных режима тепломеханического взаимодействия, которые различаются по структуре тепловых полей и их размерам. Определяющим критерием режимов является термомеханический параметр крутки соударяющихся закрученных струй.

При столкновении высокотемпературных закрученных струй структура тепловых полей еще более сложная. Для ее изучения автором уточнена методика фазочастотного анализа последовательностей термограмм. Кроме того, с целью изучения возможности управления процессами переноса

автором проводились эксперименты с наложением на исходную высокотемпературную струю пульсирующего воздействия между режимами устойчивых и неустойчивых факелов. Обнаружено, что в закрученных факелах возникают неаналогичные структурные образования. Здесь в отличие от низкотемпературных струй, в факелах при крутке наблюдается гораздо больше разновидностей когерентных образований разных размеров.

В целом эти результаты позволяют производить анализ температурного поля, определять положение области соударения закрученных газовых струй, а затем производить структурную идентификацию этой зоны и управлять местоположением зоны соударения закрученных газовых струй и контролировать поля температур рабочего пространства технологического оборудования с целью обнаружения зон (потоков) с аномальной температурой.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, содержащего 125 наименований, и 7 приложений. Основное содержание диссертации изложено в 11 печатных работах, в том числе 3 статьи опубликовано в журналах, входящих в перечень научных рецензируемых изданий, рекомендованных ВАК.

Во введении изложены актуальность и изученность темы, определена и поставлена цель работы. Объектами исследования выбраны гидродинамика и теплообмен соударяющихся высоко- и низкотемпературных газовых струй, часто встречающихся в различных тепломассообменных и теплоэнергетических установках. Здесь же приведена научная новизна и многочисленные практически значимые результаты диссертационной работы. Здесь на взгляд оппонента, не видны четкие границы между научной новизной и практической значимостью. Например, последний пункт, т.е. предложенный новый тип аксиального завихрителя можно было отнести не к научной новизне, а к практическому результату. Также некоторые пункты (п.3, п.6 и п.7) как в научной новизне так и в практической значимости

одинаковы. П.6 можно было отнести к новизне, а п.7 к практической значимости.

Автор к защищаемым положениям относит предложенную им уточненную методику описания процесса теплового взаимодействия закрученных газовых струй и полученные при помощи методики новые результаты, эмпирические зависимости количественной оценки теплопереноса и локальной теплонапряженности и разработанные алгоритмы и структурные схемы автоматики для управления процессом. Положительным является внедрение результатов теоретических разработок автора, которые учтены при модернизации конструкции реально действующего горелочного устройства на ТЭЦ-2 в г.Улан-Батор.

**В первой главе** дан аналитический обзор литературных данных, касающихся исследованию физики процесса соударения прямоточных (незакрученных) и закрученных струй, который позволил автору сделать вывод о недостаточности систематизированных исследований в области соударения закрученных струй. Здесь же рассмотрен обзор методов экспериментального исследования гидродинамики и теплообмена струйных потоков. Отмечено, что новым и наиболее результативным методом изучения соударения высокотемпературных газовых струй является телевизионная диагностика. На этих основаниях сформулированы основные задачи диссертационного исследования.

В качестве замечаний можно сказать, что на рис 1.1 и 1.2 показаны картины линий тока соударяющихся встречных потенциальных (безвихровых) потоков, полученные методом суперпозиции, который принципиально не относится к изучаемому явлению. В обзоре исследований большая часть занимает описание работы П.Ю.Худякова. Также многие повторения текстовых информации на с.15 и с.98, с.16 и сс.102 и 103 и т.д. и формул 1.3 и 4.3, 1.4 и 4.4, 1.5 и 4.5, 1.6 и 4.6, 1.7, 3.2 и 4.8, 1.9 и 4.12, 1.10 и 4.13, 3.1 и 4.7. можно считать как минимум некорректными.

**Во второй главе** рассмотрено аппаратное обеспечение телевизионного метода. Отмечено, что решающим в обеспечении его эффективности с применением сетки преобразователя температуры является подбор характеристик последней. Здесь нужно знать некую границу, позволяющую без искажения визуализировать структуру потока. Сказанное здесь утверждение (с.31) "... исходя из практики экспериментальной гидромеханики, сетка не должна вносить существенных искажений в структуру потока." является необоснованным. Тут нужно было показать граничное значение численного критерия (число Био). При использовании сетки-преобразователя температуры в низкотемпературной установке не показано вычисление и значение числа Био. В данной главе изложены и обоснованы процедуры и методы обработки экспериментальных данных.

**В третьей главе** изучена гидродинамика соударения закрученных струй как предпосылка к изучению теплообмена. Проводилось обширное экспериментальное исследование по определению физики и механизма соударения закрученных струй и методике определения границ области их взаимодействия. Здесь выявлены два основных режима взаимодействия. Выведено безразмерное уравнение расчета термомеханического параметра крутки (3.1 в дисс. и (1) в автореф.). Получен новый эффект капсуляции струй.

В качестве замечания можно отметить, что в работе не достаточно описано определение размера зоны взаимодействия и в формуле (3.1) не понятно, как определить геометрические коэффициенты  $a$  и  $B$ .

**В четвертой главе** рассматриваются вопросы теплообмена и локальной тепловой напряженности в теплообменной зоне соударяющихся струй. Кстати в изложении данного вопроса в автореферате в заглавном предложении, указывающем на это (с. 15 автореф.) упущено само слово "теплообмен". Здесь предметами исследований являются изучение температурного поля, возникающего при столкновении потоков, с целью последующего определения коэффициента теплообмена и локальный

коэффициент (параметр) тепловой напряженности, необходимый для последующего применения результатов работы при рациональном проектировании огневого пространства топочных устройств. Разумеется, что при экспериментальном изучении теплообмена нет иного способа определения коэффициента теплообмена, кроме использования основного уравнения теплопередачи. Но здесь весьма сложным и неопределенным является определение площади поверхности теплообмена между струями в зоне с высокой степенью турбулентности. В работе диссертант именно этому уделял особое внимание и справился с поставленной задачей, т.е. им предложен оригинальный визуализирующий в 3-х мерном пространстве метод изучения температурного поля и тем самым определения площади поверхности взаимодействия закрученных струй. Причем разработанный метод может быть использован как и встречных, так и встречающихся под углом струй. Далее в работе обобщены результаты экспериментальных исследования и доведены до получения обобщенной формулы расчета коэффициента теплообмена, что является важным научным результатом, вносящим вклад в теорию теплообмена при ' взаимодействии неизотермических струй. Также в ходе обобщения экспериментальных данных получено критериальное уравнение (4.9 на с.105 дисс. или 6 на с.16 автореф.) для безразмерной интенсивности теплового взаимодействия от параметра закрутки в двух режимах, предназначенное для решение инженерных задач конструирования горелочно-топочных устройств. Здесь из-за отсутствия объяснения непонятной является причина сильного, более чем десятикратного, отличия (0,07 и 0,9) в показателях степени при числах Рейнольдса для холодной и горячей струй в корреляционной уравнение (4.9). В результате изучения теплонапряженности получена формула расчета ее локального коэффициента в зависимости от конструктивно-режимных параметров для инжекционного (4.14) и принудительного (4.16) режимов.

**Пятая глава** посвящена внедрению результатов исследований в инженерной практике. Здесь разработана система определения

местоположения и управления им в зоне соударения встречных газовых струй в топочном пространстве. Даны примеры использования результатов разработок в топках энергетических парогенераторов. Только непонятно почему в диссертации показана схема парогенератора БКЗ-220-100, когда внедрение относится к парогенератору БКЗ-75-39 (см. приложение 3, акт внедрения). Положительным является то, что по разработкам диссертанта получено 2 патента на полезную модель в РФ и 1 патент на изобретение в Монголии.

В итоге можно считать, что автор полностью справился с первоначальной поставленной целью и задачами исследования.

Автореферат соответствует с диссертацией и полностью отражает ее содержание.

Рассматриваемая работа является законченным исследованием, имеющим как научно-техническое, так и прикладное значение. Она удовлетворяет требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям и ее автор Дорж Даваацэрэн заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14 - Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Доктор технических наук (специальность 05.14.01- энергетические системы и комплексы), профессор, академик МАН,  
профессор кафедры «Тепловые электрические станции»  
Монгольского государственного университета  
науки и технологий, Монголия, г.Улаанбаатар,  
14191, ул.Бага тойруу, хороо 8, МГУНТ, кор.2.  
а.я. 46/520, тел. (976)-11-324590^.

Сэрээтэрийн Батмунх

Подпись С.Батмунха заверяю:

Ученый секретарь Энергетического института  
Монгольского университета науки и технологий,  
канд. техн. наук, доцент

Б. Бат-Эрдэнэ  
2015.11.20.