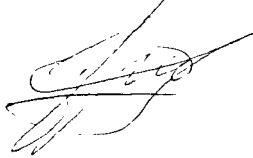


На правах рукописи

РГБ ОЧ

28 ноя 2000

Григорьев Дмитрий Рюрикович



УДК 621.181.001

**Повышение основных теплотехнических
характеристик топочного устройства с вихревыми
горелками путем формирования вертикального
вращающегося потока продуктов горения**

05.04.01.

«Котлы, парогенераторы и камеры сгорания»

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Новочеркасск 2000

**Работа выполняется в Волгодонском институте Южно Российского
государственного технического университета (НПИ)**

Научный руководитель- кандидат технических наук, доцент
Бубликов И.А.
Официальные оппоненты- Доктор технических наук, профессор
Ахмедов Д.Б.
Кандидат технических наук
Котлер В.Р.
Ведущая организация- **АООТ «НПО ЦКТИ»**

Защита состоится **« 3 » июля 2000** года в **10** часов
на заседании специализированного совета К 063.30.12 при
Южно Российском государственном техническом университете
(НПИ) по адресу:
346428, г. Новочеркасск Ростовской области, ГСП-1. ул.
Просвещения,132.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Южно
Российского государственного технического университета (НПИ)

Автореферат разослан **« 29 » мая 2000** г.

Ученый секретарь Специализированного
совета, к.т.н., доцент



Н.Н. Ефимов

Актуальность проблемы.

В современных топочных устройствах факельного сжигания топлива применяются в основном две компоновки вихревых горелок: фронтальная и встречная. Обе они имеют некоторые недостатки, которые особенно выражены на водогрейных котлах типа КВГМ-100.

Водогрейные котлы играют важную роль в обеспечении бесперебойного снабжения теплом потребителей, резервируя котлотурбинные теплофикационные блоки, заполняя пиковую часть суточного и годового графиков тепловой нагрузки, увеличивая долю ТЭЦ в общем количестве теплоты, отпущенной на нужды народного хозяйства, до 40 %.

В настоящее время эксплуатируется более 1300 газо-мазутных и пылеугольных котлов, используемых в качестве основных и пиковых источников тепла на ТЭЦ и в отопительных котельных. Более 1000 из них составляют парк газо-мазутных котлов ПТВМ, около 200 – КВГМ.

Котлы типа КВГМ стали вводиться в эксплуатацию с 1973 г. (П-образная схема компоновки, принудительная тяга, сниженное теплонапряжение топки) и должны были заменить устаревшие конструкции. Однако в условиях длительной эксплуатации при работе на мазуте они оказались также недостаточно надежными: высокая низкотемпературная коррозия конвективных пучков и частый выход их из строя; повреждения труб верхнего конвективного пакета из-за перегрева металла, вызванного заносом факела в конвективную шахту. Все это характеризует низкий коэффициент теплотехнической надежности котла.

Одним из способов повышения теплотехнической надежности водогрейных котлов является создание более совершенной аэродинамики топочной камеры. Одним из технических решений может быть тангенциальная компоновка двух и трех вихревых горелок. Однако в настоящее время методики и нормы расчета таких топков с вихревыми горелками отсутствуют.

Цель работы.

Повысить эффективность работы газо-мазутных котельных агрегатов путем совершенствования аэродинамических характеристик топочного устройства, и разработать расчетную методику определения компоновки двух и трех вихревых горелок, при которой формируется вертикальный топочный вихрь, повышающий интенсификацию теплообмена в топке и коэффициент теплотехнической надежности котла, с одновременным снижением выхода оксидов азота.

Для достижения поставленной цели необходимо решить задачи:

- разработать физическую изотермическую модель наиболее распространенного топочного устройства с вихревыми горелками и провести комплекс исследований аэродинамических характеристик потоков воздуха в топке при различных вариантах компоновки горелок, и процесса теплообмена в топке с вертикальным топочным вихрем (ВТВ);
- обобщить результаты исследований и разработать на их основе математическую модель формирования вертикального топочного вихря;

- установить критерии оптимальности вертикального топочного вихря;
- разработать методику определения расположения горелок, при котором формируется вертикальный топочный вихрь, удовлетворяющий поставленным требованиям, и создать программное обеспечение для инженерных расчетов;
- провести тепловые испытания реконструированных котлов и на основе полученных результатов дать рекомендации к методам расчетов теплообмена в топочных устройствах с ВТВ, и разработать предложения по проектированию и модернизации подобных котельных агрегатов.

Научная новизна.

1. Математическая модель основанная на фундаментальных законах аэродинамики и пневмоники, рассматривающая процесс формирования ВТВ в три этапа, адекватность которой подтверждена впервые экспериментально исследованными процессами принципиально нового способа формирования вертикального топочного вихря тремя и двумя вихревыми горелками, заключающийся во взаимодействии струй горелок между собой, подом и экранами топки.

2. Расчетная методика для определения положения вихревых горелок, при котором формируется аэродинамическая структура факела, удовлетворяющая поставленным требованиям, основанная на полученной математической модели и результатов теоретических и экспериментальных исследований автора в определении критериев оптимальности вертикального топочного вихря.

3. Новое соотношение для расчета теплообмена в котле с ВТВ, позволяющее учесть интенсификацию радиационного теплообмена за счет приближения зоны высоких температур факела к экранам топки, определяемое как отношение объема заполненного высокотемпературным факелом в топке с вертикальным топочным вихрем к объему факела в топке с общепринятыми компоновками вихревых горелок.

Практическая ценность:

-разработана, исследована и опробована новая компоновка двух и трех вихревых горелок, расположенных в одной плоскости, при которой формируется вертикальный топочный вихрь;

-разработана расчетная методика позволяющая определить положение горелок для модернизации котлов с вихревыми горелками, у которых топочное устройство в плане близко к квадрату (водогрейные котлы типа КВГМ-100, КВГМ-180, ПТВМ-100 и др.; паровые котлы ГМ-50 и др.), с целью повышения их теплотехнических характеристик;

-на основании результатов проведенных исследований реконструированы три котла типа КВГМ-100 на Волгоградской ТЭЦ-2. Испытания реконструированных котлов подтвердили, что предложенная компоновка вихревых горелок увеличивает интенсивность теплообмена в топке на 30 %, повышает теплотехническую надежность котла на 20 %, снижает выход оксидов азота на 10%;

-разработана физическая модель котельного агрегата с вихревыми горелками, используемая в качестве учебного пособия и для проведения исследовательских работ на кафедре «Теплоэнергетические технологии и оборудование» Волгодонского института Южно-Российского государственного технического университета (НПИ);

-разработан новый метод получения и обработки экспериментальных данных, при визуализации потоков воздуха искровым методом, основанный на применении видеокамеры и ПК с пакетом специальных программ.

Апробация работы. Основные результаты диссертации докладывались на научно-технических конференциях Волгодонского Института Южно-Российского Государственного Технического Университета в 1996-1999 гг. На международной научно-технической конференции «Прогрессивные технологии в машиностроении и современность», г. Севастополь сентябрь 1997 г. На международной научно-практической конференции «Энергоэффективные и энергосберегающие техника и технологии-99» 23-24 сент.1999 г. С.-Петербург, на научном семинаре кафедры «ПГС» ЮРГТУ (НПИ) февраль 2000 г.

Публикации. Основные результаты диссертационной работы отражены в десяти публикациях.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения. Содержит 141 страницу, 31 рисунок, 58 фотографий, 12 таблиц. Список литературы содержит 116 наименований. В приложения включены: акт внедрения новой компоновки вихревых горелок в топке котла типа КВГМ-100, акты тепловых испытаний котлов типа КВГМ-100 на Волгодонской ТЭЦ-2.

В введении обоснована актуальность темы, сформулирована основная цель, представлена научная новизна и практическая значимость, изложены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе проведен критический анализ методов повышения тепло-технической надежности водогрейных котлов. Обсуждены достоинства и характерные недостатки современных компоновок топочных устройств. Рассмотрены существующие методы расчета аэродинамики и теплообмена в топках, способы снижения выбросов оксидов азота. Обоснована постановка задачи исследования.

Во второй главе проанализированы ожидаемые результаты модернизации топочного устройства с вихревыми горелками. Проведен аналитический анализ теплообмена в топочном устройстве с вертикальным топочным вихрем, предложено введение расчетной поправки, учитывающей увеличение интенсивности теплообмена излучением в топке. Проведен анализ увеличения конвективной составляющей теплообмена в топке. Обоснован результат снижения выбросов оксидов азота. Представлены расчетные зависимости, применяемые для разработки расчетной методики определения оптимального положения горелок.

Модернизация топочного устройства котла типа КВГМ-100 заключается в расположении вихревых горелок на экранах топки под углом α к нормали

экрана, под углом β - к горизонтали, на расстоянии L от середины экрана, и на высоте h - над подом (рис.1).

При тангенциальном расположении вихревых горелок поступательное движение потоков газов участвует в формировании вертикального топочного вихря (ВТВ), который образуется в результате взаимодействия струй газов между собой, с подом и экранами. Взаимодействие струй факела с экранами происходит на расстоянии, на котором основной процесс горения завершается, поэтому исключается возможность пережога экранных труб. Аэродинамическая структура факела, индивидуально каждой горелки, не искажается, и положительные свойства вихревых горелок сохраняются. Топочные газы движутся по восходящей спирали, что увеличивает время нахождения топливных частиц в топке, и обеспечит полное выгорание топлива.

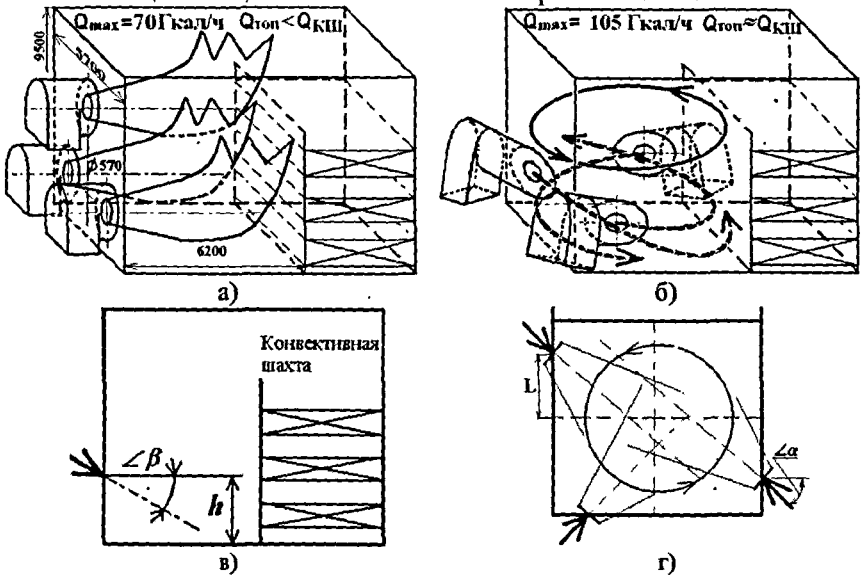


Рис. 1. Котел типа KBGM-100: а)- проектное исполнение, б-г)- тангенциальное расположение трех вихревых горелок: б)- изометрия, в)- вид сбоку, г)- вид сверху.

ВТВ интенсифицирует теплообмен в топке за счет увеличения конвективной и радиационной составляющей теплоотдачи в топке. В результате “размазанной” кольцевой структуры ВТВ максимальная температура факела будет снижаться, что приведет к снижению выбросов оксидов азота. Равномерное заполнение топочного пространства горящими газами обеспечивает равное тепловосприятие всех экранов и одинаковый обогрев труб по ширине экрана. Это обеспечивает повышение коэффициента теплотехнической надежности.

В существующих топочных устройствах происходит сложный теплообмен между факелом и экранными поверхностями нагрева, который включает как радиационную, так и конвективную составляющие. Известно, что в от-

крытых призматических топках доля конвективного тепловосприятия экранов не превышает 10 % и поэтому в рекомендациях нормативного метода при расчете линейных и тангенциальных топок она не учитывается. В случае же перехода к топочным устройствам со сложной аэродинамикой, приближающимся по структуре вихревого течения газов к циклонным и вихревым камерам, доля конвективного тепловосприятия экранов может быть весьма существенной. При расчете коэффициента теплоотдачи, выполняемого по величине и углу проекции скорости в плоскости параллельной экрану, принимаемой предположительно из анализа аэродинамической структуры в топке (рис.2) 5-7 м/с, использовались три зависимости: для косо обтекания цилиндра, критериальное уравнение для обтекания пластины, критериальное уравнение для определения α_k в циклонах.

Значения средних по экрану коэффициентов теплоотдачи, расчетных для цилиндра (α_r^{cp}), для пластины ($\alpha_{пл}^{cp}$), и для циклона ($\alpha_{ц}^{cp}$).

Вт/(м ² *К)	α_r^{cp}	$\alpha_{пл}^{cp}$	$\alpha_{ц}^{cp}$
Изотермическая модель кола	108,5	29	53
Натурный котел КВГМ-100	73	23	51

Анализируя структуру движения горящих газов в топке при формировании вертикального топочного вихря вихревыми горелками можно прийти к выводу, что распределение температуры в топочном объеме будет выглядеть следующим образом (рис. 2).

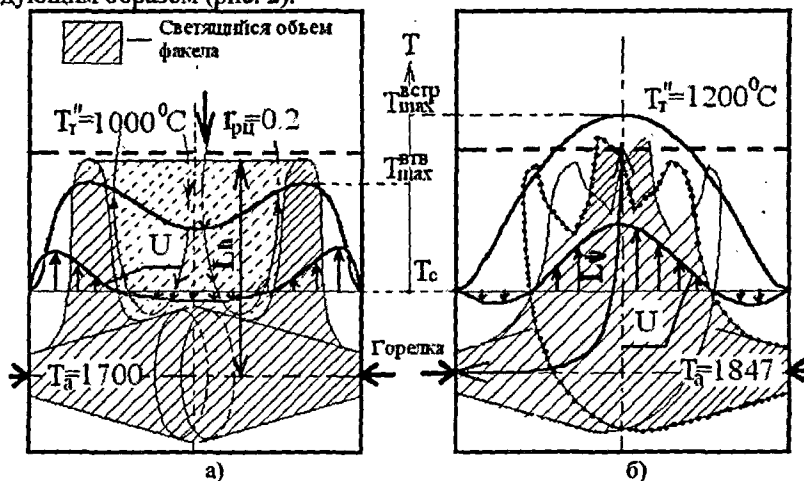


Рис. 2. Схема температурного поля в поперечном сечении топочной камеры.

а)-тангенциальное расположение вихревых горелок ,

б)- встречное расположение вихревых горелок.

При образовании вертикального топочного вихря в топочном устройстве увеличивается объем топки заполненный факелом. Поэтому учесть интенсификацию радиационного теплообмена, за счет приближения области максимальных температур к экрану, можно введением в формулу для расчета эф-

фективной степени черноты факела поправочного коэффициента β , рассчитываемого как отношение объема светящегося факела в топке с ВТВ- $V_{\text{ВТВ}}$, к объему факелов горелок в топке без образования ВТВ- $V_{\text{ф}}$:

Для реконструированного котла типа КВГМ-100 поправка $\beta = \frac{V_{\text{ВТВ}}}{V_{\text{ф}}}$ составит $\beta = 1,37$.

Расчеты теплообмена котла типа КВГМ-100 при производительности 100 Гкал/ч при работе на мазуте по методу ВТИ-ЭНИИ с применением вводимой поправки и с учетом коэффициента теплоотдачи конвекцией рассчитанного для циклонных топок $\alpha_x = 50 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$ (большие значения α_x нереальны для данного топочного устройства) показывают (табл.), что ВТВ увеличивает интенсивность теплообмена в топочном устройстве на 30%, что приводит к снижению температур на входе в КШ на 12%.

Результаты теплового расчета котла по методу ВТИ-ЭНИИ

Параметры		Фронтальное положение горелок	Топка с ВТВ
Коэффициента теплоотдачи в топке котла (Вт/м ² *К) α	конвекцией	0	50
	лучевой	212,6	276,9
	общий	212,6	326,9
Интенсификация теплообмена в %			35
t газов на выходе из котла °С		1130	993
Снижение t газов на выходе из топки в %			12
Мощность конв. пучка МВт		59,02	50,75
Мощность топки МВт		57,62	66,81
Тепловое напряжение топки	$q_F \text{ МВт/м}^2$	3,42	
	$q_V \text{ МВт/м}^2$	0,342	

С увеличением интенсивности теплоотвода снижаются максимальная температура и время пребывания реагирующих веществ в области максимальных температур τ_p , следовательно с увеличением интенсивности теплообмена в топке можно уменьшить выбросы NO_x . В результате установившейся картины течения газов (рис. 2) в топочном пространстве с вертикальным топочным вихрем к ядру факела рециркулируют из верхней части топочной камеры охлажденные газы с температурой T_p . Интенсификация охлаждения факела приводит к снижению T_p на 8%, что уменьшает выбросы NO_x .

В третьей главе обоснован выбор и описаны методы исследований на различных этапах работы.

Модель котла КВГМ-100 выполнена в масштабе 1:10 и геометрически подобна натурному котлу. С целью визуализации аэродинамических процессов в топочной камере верхняя крышка выполнена из оргстекла, а стенки топки из стекла. Дополнительно изготовлены две металлические стенки (фронтальная и боковая) с отверстиями. Они устанавливаются на модели при исследовании аэродинамики топки зондом.

Модель горелки также геометрически подобна натурной в масштабе 1:10. Горелки располагаются на фронтальной и обеих боковых стенках, при-

чем предусмотрена возможность установки горелки в любом положении на стенке. Конструкция крепления горелки обеспечивает установку угла между осью горелки и нормалью к стенке в горизонтальной плоскости $\angle \alpha = -70^\circ + 70^\circ$ и угла между осью горелки и нормалью к стенке в вертикальной плоскости, проходящей через нормаль, $\angle \beta = -30^\circ + 30^\circ$. Точечное измерение скорости воздуха осуществляется одноканальным, трехканальным и пятиканальным аэродинамическими зондами в комплекте с микроманометром.

Для определения конвективной составляющей коэффициента теплоотдачи в топке модели котла КВГМ-100 были изготовлены два съемных экрана (фронтальный и боковой), на которых со стороны топочного пространства моделировался трубный пучок экранных труб алюминиевыми стержнями диаметром 3 мм. По длине экрана расположены три трубные вставки по пять трубок диаметром $3 \times 0,5$ из стали 08Х18НЮТ. Две крайние вставки располагаются на расстоянии $1/6$ длины экрана от углов топки, третья - по середине.

Визуализация шелковыми нитями производится с помощью рамки с металлическими струнами с шагом 25 мм. Шелковые нити длиной 25 мм имеют различную окраску для удобства координации в плоскости топки. При визуализации топочных циркуляций искровым методом использовались древесные опилки, смоченные в бензине. Опилки сжигались в специальном контейнере из металлической сетки длиной 150 мм и диаметром 20 мм. Визуализированные потоки фотографировались, а также снимались видеочкамерой. Видеоизображение обрабатывалось на компьютере при помощи видеокарты miroVIDEO DRX и программы Adobe. Premiere 4.2

Для тепловых испытаний реконструированных котлов, кроме штатных средств измерения, были установлены дополнительные средства измерения.

Дополнительные средства измерения должны были обеспечить полную объективную информацию о процессах, происходящих в водяном и газовом трактах, а также данные необходимые для оценки теплотехнической надежности котла.

В четвертой главе представлены результаты исследования закономерностей формирования вертикального топочного вихря, предложена расчетная методика определения оптимального положения вихревых горелок, обобщены результаты экспериментальных исследований по оптимизации пространственной ориентации вихревых потоков в топочной камере, проведен анализ работы котла при увеличении интенсивности теплообмена в топке.

При исследовании закономерностей формирования ВТВ, получены видеофильмы процесса движения визуализированных потоков воздуха в топке модели котла при различных вариантах расположения горелок. С помощью компьютерной обработки получены видео-фотографии, на которых наблюдается процесс взаимодействия струй горелок в топке (рис. 3).

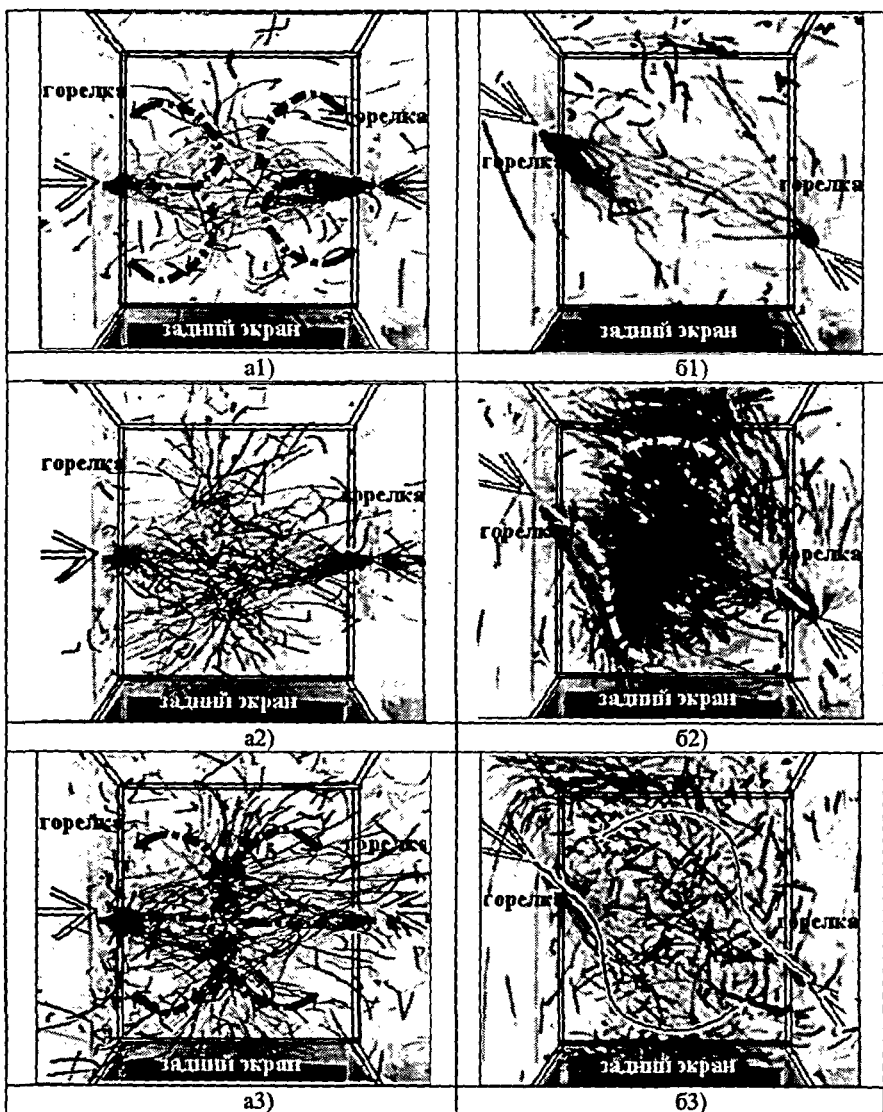


Рис. 3. Фотографии (негатив) движения визуализированных потоков воздуха в топке модели котла. Снято сверху. Фотографии с интервалом $1/25\text{с}$. Расположение горелок симметрично от центра экрана искры подаются из двух горелок: а) $\angle\alpha=0^\circ$, $L=0$ - ВТВ не формируется; б) $\angle\alpha=30^\circ$, $L=b/6$ - ВТВ формируется. b - ширина экрана.

Расчетная методика. Анализом экспериментальных данных видео и фотосъемки установлено, что процесс движения струй в топке модели котла можно разбить на три этапа (рис. 4).

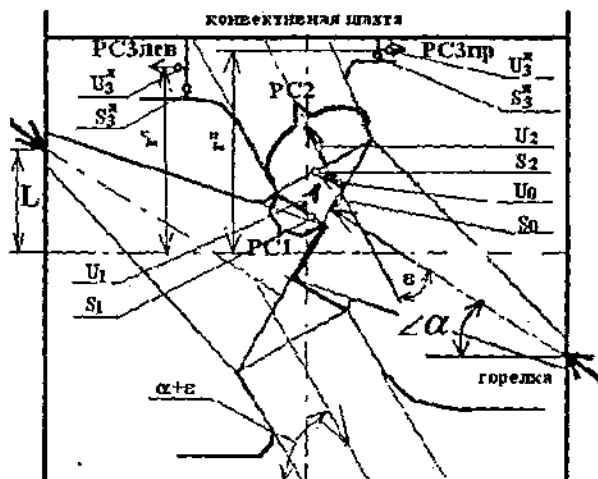


Рис. 4. Схема построения математической модели формирования ВТВ.

На первом этапе взаимодействуют струи горелок в центре топki. В результате соударения происходит формирование результирующих струй первого порядка (PC1). PC1 одной горелки взаимодействуют с частью струй другой горелки, не участвовавших во взаимодействии, и образуют результирующие струи второго порядка (PC2). PC2 взаимодействуют с экранами, в результате формируются результирующие струи третьего порядка (PC3). От места взаимодействия PC2 с экраном и количества движения отразившихся в разные стороны PC3 зависит качество образующегося ВТВ. PC2 взаимодействуют с экранами, в результате формируется результирующие струи третьего порядка (PC3). От места взаимодействия PC2 с экраном и количества движения отразившихся в разные стороны PC3 зависит качество образующегося ВТВ.

Для математического описания процесса формирования ВТВ течение взаимодействующих струй в центре топki представим как движение потока в пространстве ограниченным твердыми стенками (рис.5).

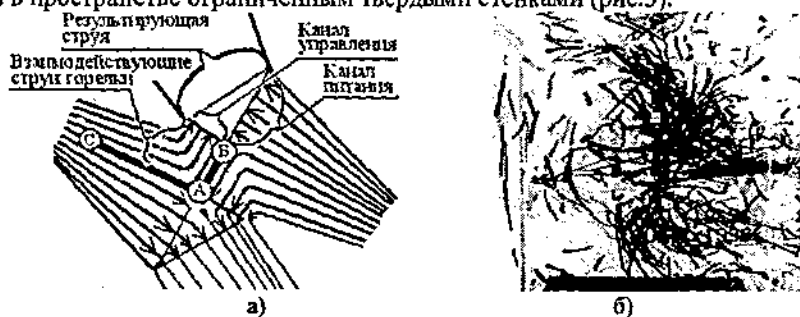


Рис. 5. Схема взаимодействия струй горелок.

Одной из твердых стенок принимаем струи горелки – плоскость АС, другой - взаимодействующие струи второй горелки плоскость АБ. При столкновении взаимодействующие струи горелки изменяют свое направление и двигаются параллельно поверхности столкновения струй, образуя канал управления. Принимаем, что количество движения струй канала управления равным количеству движения взаимодействующих струй горелок. А количество движения канала питания равным количеству движения не взаимодействующих струй горелок.

Процесс формирования ВТВ описываем уравнениями количества движения и зависимостями, используемыми в пневматике для расчета взаимодействия струй. Движение струй в топке рассматриваем как двухмерное, не учитывая влияние на процесс образования ВТВ результирующих струй взаимодействующих с подом, и результирующих струй движущихся вверх.

$$\text{tge} = f(\delta_F/r_0) * (S_1/S_0)^{1/2} * (U_1/U_0),$$

$$U_2 = [(S_0 * U_0^2)^2 + (S_1 * U_1^2)^2]^{1/2} / (S_0 * U_0 + S_1 * U_1),$$

$$S_2 = (S_0 * U_0 + S_1 * U_1)^2 / [(S_0 * U_0^2)^2 + (S_1 * U_1^2)^2]^{1/2},$$

$$U_2^2 * S_2 * \cos[180 - (\alpha + \varepsilon)] + U_{3n}^2 * S_{3n} - U_{3n}^2 * S_{3n} = 0,$$

$$Q_2 = Q_{3n} + Q_{3n} = U_{3n} * S_{3n} + U_{3n} * S_{3n},$$

$$M = U_{3n}^2 * S_{3n} * r^n - U_{3n}^2 * S_{3n} * r^n,$$

где r_0 - радиус канала питания (устья горелки), $f(\delta_F/r_0)$ - функция определяющая влияние границ каналов; U_{3n} , S_{3n} , U_{3n} , S_{3n} - скорости и площади струй, образующихся в результате взаимодействия потока с плоской стенкой; r^n , r^n - расстояния от оси топки до центра массы сечения результирующих струй.

На основании предложенной выше модели можно рассчитать момент количества движения относительно вертикальной оси топки при различных вариантах расположения горелок. Для этого на языке программирования С++ была написана программа, которая вычисляет момент количества движения при изменении угла между нормалью к экрану и осью горелки при

фиксированном расстоянии положения устья горелки от середины экрана - L . Результаты расчета представляются в виде графика $M=f(\alpha)$ (рис. 6).

Из анализа визуальных наблюдений и анализа расчетных зависимостей видно, что наиболее качественный ВТВ и наибольший момент получается в случае, когда струи горелок имеют наи-

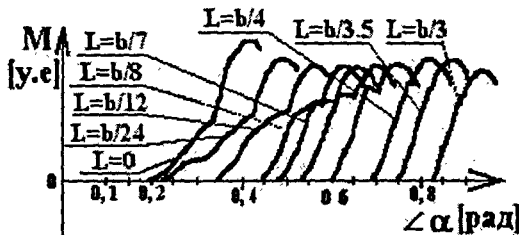


Рис. 6. Расчетные графики зависимости момента количества движения ВТВ относительно вертикальной оси, образованного двумя тангенциально расположенными горелками при различных геометрических параметрах расположения горелок.

меньшую площадь столкновения, и взаимодействуют с экранами с наименьшим углом $\angle(\alpha+\epsilon)$. Чем больше момент количества движения, тем лучше характеристики ВТВ. Анализ результатов визуальных наблюдений показал, что ВТВ имеет более целостную структуру при более длинной длине пробега результирующих струй третьего порядка формирующих ВТВ после взаимодействия с экраном.

Из вышесказанного формируется задача оптимизации нахождения положения горелок с ограничивающими условиями. Задача сводится к нахождению переменных, при которых наблюдается максимум функционала: $M=f(x_1, x_2, \dots, x_n)$. Где $x_1-\alpha$ [рад], x_2-L [в относительных величинах от ширины экрана], x_3-D [в относительных величинах от ширины экрана], x_4- угол раскрытия факела горелки $-\varphi$ [рад].

Для исследуемого топочного устройства с заданными характеристиками горелок, необходимо найти только первые две переменные.

Ограничивающими условиями является $A < k \cdot D$ и $B < b$, где A - длина струи горелки до взаимодействия с экраном; k -коэффициент, принимаемый в зависимости от характеристики горелки и сжигаемого топлива; D - диаметр устья горелки; B - расстояние от угла экрана, до края следа струи на экране.

Так как математическое описание целевой функции для применения методов оптимизации (симплекс метод, градиентный метод и др.) не являлось задачей рассматриваемых исследований, оптимальное положение горелок будем находить методом последовательного анализа вариантов в графической интерпретации.

Как видно из рис. 6 все функции при различных параметрах L имеют явные экстремумы, соответствующие максимальному моменту. При наложении граничных условий получим графики, представленные на рис. 7.

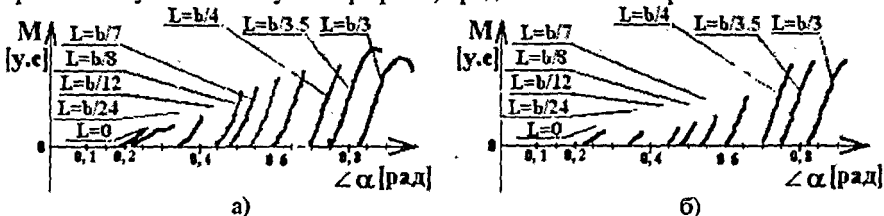


Рис. 7. Расчетные графики зависимости момента количества движения от $\angle\alpha$ при различных L с учетом ограничивающих условий:

- а) - $A < k \cdot D$ (ограничение по длине факела до взаимодействия с экраном),
- б) - $B < b$ (ограничение по длине пробега результирующей струи по экрану).

Из графиков (рис. 7) видно, что значения геометрических параметров расположения двух горелок в топке котла типа КВГМ-100, при котором формируется ВТВ, отвечающий поставленным требованиям, равны: $L=b/3.5$, $\angle\alpha=0.8$ рад. Полученные данные из расчетных графиков подтверждаются исследованиями на модели.

Предложения по оптимизации аэродинамики топочной камеры котла типа КВГМ-100. Было исследовано на модели более 200 вариантов расположения

трех вихревых горелок. Более детальное исследование характеристик потоков воздуха в топке позволило выбрать оптимальный вариант, который был предложен для реконструкции натуральных котлов типа КВГМ-100 на Волгодонской ГЭЦ-2. Результаты измерения полей скоростей обрабатывались с помощью специально созданного пакета программ, позволяющей получать поля скоростей и давлений (рис. 8.б) Анализ полей скоростей позволило определить количественные характеристики ВТВ (рис. 8). Экспериментальное определение коэффициента теплоотдачи конвекцией показало, что наличие ВТВ в топке котла увеличивает конвективную составляющую теплообмена на модели до $100 \text{ Вт/м}^2\text{К}$.

Отмечено, что изменение направления крутки горелок и изменения расходов по горелкам с разницей до 30 % не оказывает заметного изменения в структуре ВТВ (оценка проводилась по результатам визуализации сеткой с шелковыми нитями). Это говорит о возможности широкого диапазона регулирования и неравномерности расходов по горелкам. Отмечено, что ВТВ, образованный двумя встречными горелками, обладает лучшими характеристиками относительно ВТВ, образованного тремя горелками. Поэтому более предпочтительна компоновка с двумя вихревыми горелками.

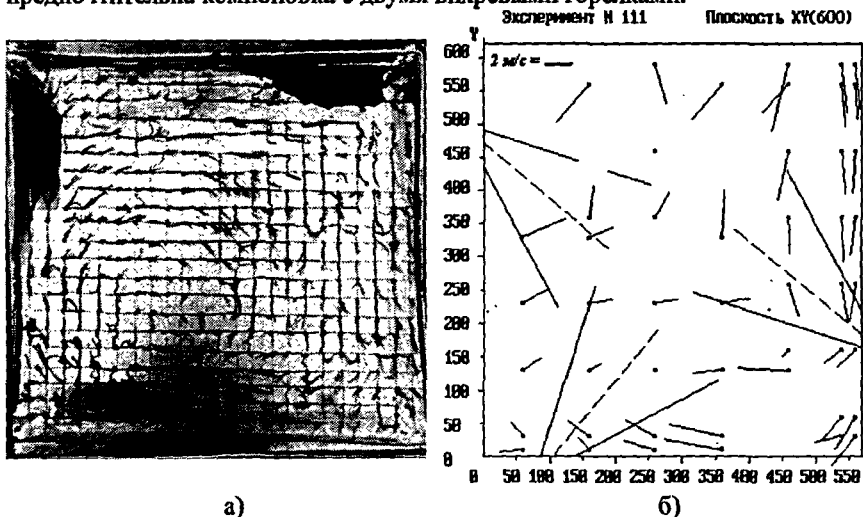


Рис. 8. Вертикальный топочный вихрь в поперечном сечении топки при оптимальном положении трех горелок:

а)- визуализации шелковыми нитями, б)- поля скоростей.

В пятой главе проанализированы результаты внедрения новой компоновки трех вихревых горелок в топке котла типа КВГМ-100. Проведен анализ технико – экономического эффекта от внедрения. Рассмотрены возможности применения разработанной расчетной методики для определения на котлах типа КВГМ-180, ГМ-50, ПТВМ-100 компоновки вихревых горелок, при которой формируется ВТВ.

На Волгодонской ТЭЦ-2 в период с 1993 по 1995 год, по предложенной компоновке вихревых горелок, были реконструированы три водогрейных котла типа КВГМ-100 стационарный № 4, 5, 6 рис. 9.

Эксплуатация модернизированных котлов на мазуте показала:

1. Увеличение интенсификации теплообмена в топке на 30%,
2. Повышение коэффициента теплотехнической надежности на 20 %,
3. Снижение выбросов оксидов азота на 10 %,
4. Повышение безаварийной мощности котла с 70 Гкал/ч до 105 Гкал/ч,
5. Повышение КПД на 0,15 % при работе в основном режиме и 1,05 % в пиковом.

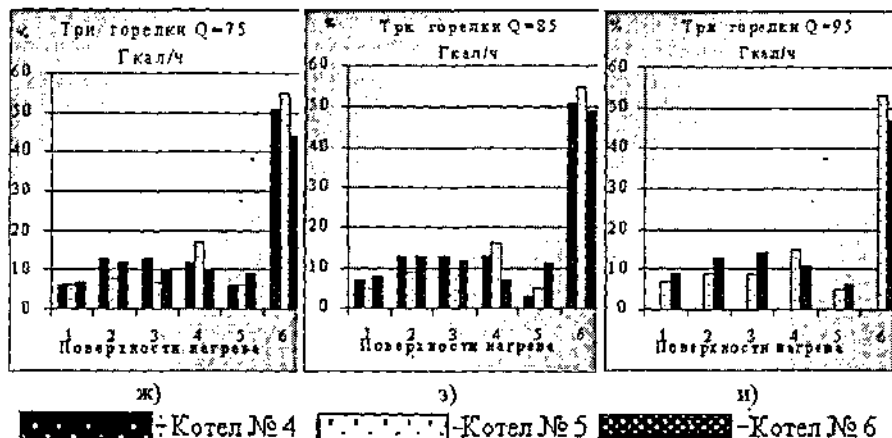


Рис. 9. Баланс тепловосприятия по поверхностям нагрева при работе водогрейных котлов с различной мощностью. Поверхности нагрева: 1- фронтальный экран, 2- левый боковой экран, 3- правый боковой экран, 4- промежуточный экран, 5- задний экран, 6- конвективная шахта.

При составлении расчетной методики не применялись эмпирические зависимости с коэффициентами характерными только для модели котла типа КВГМ-100, поэтому возможно применение расчетной методики на других котлах. Входными параметрами программы для определения оптимального положения вихревых горелок являются геометрические размеры топки и характеристики горелки. Выходными параметрами являются геометрические параметры расположения горелок. Для конкретного топочного устройства можно подобрать горелки, при которых формируется ВТВ с лучшими характеристиками. Для того, чтобы формировался ВТВ вихревыми горелками необходимо достаточное количество движения продуктов горения. Поэтому длина струи горелки не должна быть намного меньше размеров топки. Поэтому в топках с большим количеством горелок можно применять более мощные горелки, уменьшая тем самым их количество, что приведет к упрощению топочного устройства, не ухудшая, а даже улучшая его работу за счет формирования ВТВ. Например, можно в топочном устройстве котлов типа

КВГМ-100, ГМ-50, КВГМ-180, вместо проектных горелок производительностью 30 МВт и параметром крутки $n < 1$, применить горелки производительностью 50 МВт и параметром крутки $n > 1$ (большой угол раскрытия факела горелки и меньшая длина факела).

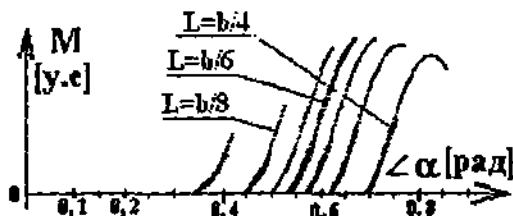


Рис. 10. Расчетные графики зависимости момента количества движения от $\angle \alpha$ при различных L с учетом ограничивающих условий для топчного устройства размером в плане 6×6 м с вихревой горелкой производительностью 50 МВт, с углом раскрытия факела 70° .

горелки и меньшая длина факела). Применение расчетной методики для такого варианта входных данных даст графики представленные на рис. 10.

Из графиков рис. 10 видно, что оптимальные геометрические параметры положение вихревых горелок, при котором происходит формирование ВТВ, будет: $L=b/6$, $\angle \alpha=0.65$ рад. Компоночное решение для такого топчного устройства предлагается на рис.11.

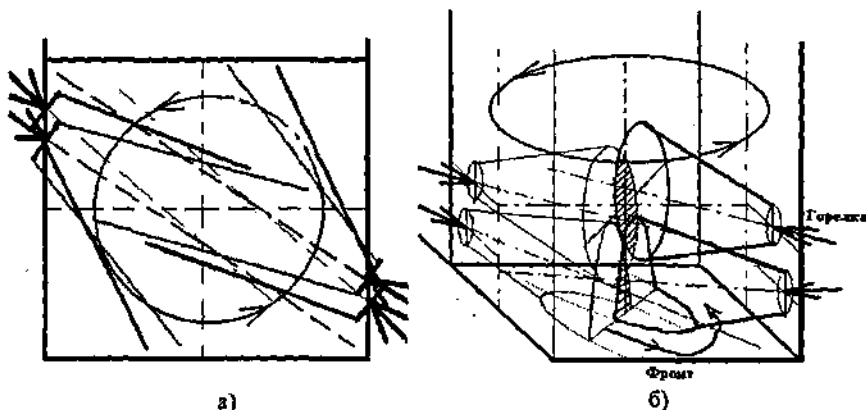


Рис. 11 Тангенциальное расположение четырех вихревых горелок на противоположных экранах на разных уровнях: а)- вид сверху, б)- аксонометрия.

В заключении обобщены результаты исследований.

1. На основании экспериментальных исследований установлено, что вертикальный топчный вихрь (ВТВ), в отличие от традиционной тангенциальной компоновки горелок, формируется по новому принципу в три этапа: 1- столкновение факелов горелок в центре топки; 2- образование результирующего потока газа; 3- взаимодействие образовавшегося потока газа с экраном топки.

2. Формирование ВТВ зависит от количества движения потоков газа, угла и места взаимодействия их с экранами топки. Количество движения пото-

ков газа и направление их движения зависит от площади взаимодействия части факелов горелок в центре топки. Для формирования ВТВ в топке исследуемого котла горелки нужно располагать в области с параметром L - расстояния от центра экрана в диапазоне от $1/12$ до $3/12$ ширины экрана, с соответствующим изменением α -угла горелки в плане от 25° до 40° .

3. На основании экспериментальных и теоретических исследований разработана математическая модель, основанная на фундаментальных законах аэродинамики и пневмоники адекватность которой подтверждена впервые экспериментальными исследованиями процесса формирования вертикального топочного вихря двумя и тремя вихревыми горелками.

4. На основании расчетных и экспериментальных данных установлено, что критерием устойчивости ВТВ является момент количества движения потоков газов относительно вертикальной оси; дополнительным критерием, определяющим качество ВТВ, принимается расстояние от места взаимодействия потоков газов с экраном до угла экрана. Ограничивающим условием является длина струи горелки от устья до взаимодействия с экраном, обеспечивающая безаварийный режим работы котла.

5. Разработана расчетная методика, реализованная в компьютерной программе, для определения положения вихревых горелок, при котором формируется аэродинамическая структура факела, удовлетворяющая поставленным требованиям, основанная на полученной математической модели, а также на результатах теоретических и экспериментальных исследований автора в определении критериев оптимальности вертикального топочного вихря. Для исследуемого топочного устройства значения геометрических параметров расположения вихревых горелок в топке котла типа КВГМ-100, при котором формируется ВТВ, отвечающий поставленным требованиям, равны: $L=b/3.5$, $\angle\alpha=0,8$ рад. Полученные данные из расчетных графиков подтверждаются исследованиями на модели.

6. Установлено, что в топке с ВТВ происходит увеличение конвективной составляющей теплообмена до 50 Вт/м^2 ; полученные данные имеют достаточную сходимость с результатами, полученными по общепринятой формуле для определения коэффициента теплоотдачи конвекцией в циклонах.

7. Установлено новое соотношение для расчета теплообмена в котле с ВТВ, позволяющее учесть интенсификацию радиационного теплообмена за счет приближения зоны высоких температур факела к экранам топки, определяемое как отношение объема заполненного высокотемпературным факелом в топке с вертикальным топочным вихрем к объему факела в топке с общепринятыми компоновками вихревых горелок. Для исследуемого топочного устройства соотношение составило 1,37. Расчеты теплообмена в топке по методу ВТИ-ЭНИН, с применением полученной поправки и с учетом конвективной составляющей, имеют достаточную сходимость с экспериментальными данными, полученными при тепловых испытаниях натуральных реконструированных котлов. Температуры на входе в конвективную шахту в результате формирования ВТВ снизилась относительно данных, полученных при испы-

таниях котла до реконструкции, на 200°; расчетное снижение температуры составило 12%.

8. Создана изотермическая физическая модель газомазутного котла, разработан и опробован новый способ обработки экспериментальных данных, полученных при визуализации потоков в модели котла искровым методом, заключающийся в обработке видеозаписи с помощью ПК со специальной видеокартой и пакетом программ. Метод позволяет изучать динамику процессов движения визуализированных потоков воздуха в топке, при применении видеокамеры с устанавливаемой выдержкой, возможно получение количественных характеристик потоков воздуха в объеме топки модели котла.

9. В результате проделанных работ разработана, исследована, и опробована, вместо традиционно применяемой тангенциальной компоновки четырех и более горелок, новая компоновка двух и трех вихревых горелок, при которой формируется ВТВ, обеспечивающий интенсификацию теплообмена в топке на 30 %. Радиационная составляющая теплообмена увеличивается относительно топки с фронтальным положением горелок на 15 %. Тангенциальная составляющая потоков газов в топке с ВТВ увеличивает долю конвективного теплообмена в топке до 15 %. «Размазанная» структура факела в топке обеспечивает снижение тепловой разверки поверхностей нагрева, обеспечивает равномерность количества тепла воспринятого элементами котла, и снижение максимальной температуры факела, что приводит к снижению выбросов оксидов азота.

10. Годовой экономический эффект (без учета экологической составляющей) от реконструкции котельной с тремя котлами типа КВГМ-100, при работе двух котлов вместо трех с той же суммарной мощностью и годовом использовании производительности котельной 1500 ч., составил 394638 руб/год (в ценах начала 2000 г.), срок окупаемости реконструкции составляет 1,6 г.

11. Компоновка вихревых горелок найдена аналитическим путем с проверкой результатов на модели и без применения эмпирических зависимостей, поэтому возможно применение расчетной методики на других газомазутных котлах для определения геометрических параметров положения горелок, при котором формируется ВТВ- с целью увеличения интенсивности теплообмена, повышения теплотехнической надежности котла и снижения выхода оксидов азота.

Публикации по теме диссертации.

Реферируемые издания:

1. Целесообразность тангенциальной компоновки вихревых горелок. Бубликов И.А., Григорьев Д.Р. Прогрессивные технологии в машиностроении и современность. Сборник трудов международной научно-технической конференции в г. Севастополь 9-12 сентября 1997г. –Донецк: ДонГТУ, 1997. С.36-37.

2. Интенсификация теплообмена в топке котла за счет конвекции вертикального топочного вихря, образованного тангенциально расположенными

вихревыми горелками. Григорьев Д. Р., Бубликов И. А. Повышенне эффективности теплообменных процессов и систем: Тезисы международной научно-технической конференции Вологда: ВоПИ, 1998. СТР. 5-8.

3. Проблемы тангенциальной закрутки топочных потоков двумя вихревыми горелками. Бубликов. И.А., Григорьев Д.Р. // Эффективность и надежность работы оборудования тепловых электростанций: Сб. науч. тр./ Юж.-Рос. гос. техно ун-т. Новочеркасск: ЮРГТУ, 1999., С. 94-102.

4. Тангенциальная компоновка вихревых горелок, как способ повышения мощности, теплотехнической надежности и экологической чистоты работы котла типа КВГМ-100. Григорьев Д.Р., Бубликов И.А. Научно-практическая конференция «Энергоэффективные и энергосберегающие техника и технологии-99». Сб. тез. 23-24 сент. 1999 г. С.- Петербург. С. 109.

5. Методика расчета оптимального положения вихревых горелок с целью формирования вертикального топочного вихря. Григорьев Д.Р., Бубликов И.А.// Изв. вуз. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. Выпуск 2, 2000 г. С. 35-40.

6. Анализ визуальных наблюдений вертикального топочного вихря, образованного двумя тангенциально расположенными вихревыми горелками. Д.Р. Григорьев, С.И. Савин, К.Н. Кузин, И.Г. Попов, А.Н. Стеков. Современные проблемы тепловой энергетики и машиностроения. Сб. науч. тр./ Юж.-Рос. Гос. Техн. ун-та.-Новочеркасск: ВИ(Ф)ЮРГТУ(НПИ),2000, с.17-20.

Не реферируемые издания:

7. Особенности структуры свободно истекающего факела вихревой горелки при изотермических продувках. Григорьев Д.Р., Бубликов И.А. Проблемы современных технологий: сб. науч. тр. / Волгодонский ин-т Новоч. Гос. Техн. Ун-та. – Новочеркасск: изд-во «Набла», 1996.- Вып 1.-С. 148-153.

8. Изучение аэродинамики топочного вихря, образованного вихревыми горелками, при изотермических продувках на модели котла типа КВГМ-100. Григорьев Д.Р., Бубликов И.А. Тезисы докладов IX научной конференции Волгодонского института Новочеркасского Государственного Технического Университета. – Новочеркасск: «Набла», 1996. Стр. 36-37.

9. Обоснование критерия качества вертикального топочного вихря образованного тангенциально расположенными вихревыми горелками. Григорьев Д.Р., Бубликов И.А. Тезисы докладов X научной конференции Волгодонского института Новочеркасского Государственного Технического Университета. – Новочеркасск: «Набла», 1997.

10. Анализ закономерностей формирования вертикального топочного вихря. Д.Р. Григорьев, С.М. Савин, К.Н. Кузин, С.А. Макаров. Новые материалы, приборы и технологии: Сб. науч. тр. / Волгодонский ин-т Новочерк. Гос. Техн. Ун-т. – Новочеркасск: изд-во «Набла», 1998. Стр. 84-88.