

**БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

УДК 534.142

НОВОСЕЛЬЦЕВ Владимир Геннадьевич

**РАЗРАБОТКА КОРРЕКТИРУЮЩЕГО ВОДОНАГРЕВАТЕЛЯ
СО СЛОЕВЫМ ПУЛЬСИРУЮЩИМ ГОРЕНИЕМ В СИСТЕМАХ
ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**

05.14.04 – Промышленная теплоэнергетика

**Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Минск 2003

Работа выполнена в Брестском государственном техническом университете.

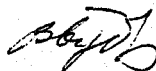
- Научный руководитель – профессор, доктор технических наук, профессор кафедры «Водоснабжение, водоотведение и теплоснабжение» Брестского государственного технического университета Северянин В.С.;
- Официальные оппоненты: профессор, доктор технических наук, профессор кафедры «Экономика энергетики» Белорусского национального технического университета Бокун И.А.;
- доцент, кандидат технических наук, зав. сектором систем теплоснабжения Белниипэнергопром Минэнерго РБ Яковлев Б.В.
- Оппонирующая организация – научно-исследовательское государственное предприятие «Белорусский теплоэнергетический институт».

Защита состоится « 14 » мая 2003 года в 14⁰⁰ часов на заседании совета по защите диссертаций Д 02.05.01 при Белорусском национальном техническом университете: 220027, г. Минск, проспект Ф.Скорины, 65, корп. 2, а. 201, тел. 8-(017)-2-399-129.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского национального технического университета.

Автореферат разослан « 8 » апреля 2003 г.

Ученый секретарь совета
по защите диссертаций
доктор технических наук, профессор



Бубнов В.П.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. На основе анализа современного состояния систем теплоснабжения и методов по их усовершенствованию можно сделать вывод о целесообразности разработки высокоэффективного корректирующего водонагревателя для использования его в этих системах для дополнительного подогрева теплоносителя в некоторых случаях (пиковый подогрев, теплоснабжение отдаленных потребителей, низкотемпературное теплоснабжение). Эффективность применения корректирующего водонагревателя в системах теплоснабжения в большой степени зависит от затрат на сам водонагреватель. Поэтому требования, предъявляемые к нему, следующие: простота конструкции, надежность, высокий КПД, дешевизна. Топочные устройства, использующие традиционные способы сжигания топлив, имеют достоинства и недостатки и позволяют определить пути поиска новых высокоэффективных способов сжигания топлива.

Одним из высокоэффективных способов сжигания топлива является слоевое пульсирующее горение. Недостатком существующих исследований по слоевому пульсирующему горению является отсутствие физико-математического описания явления, позволяющее определить основные геометрические размеры горелки в устройстве, использующем этот процесс.

Для выполнения упомянутых условий необходима разработка физико-математической модели процесса слоевого пульсирующего горения, а также разработка конструкции водонагревателя, что является актуальной проблемой, так как позволит добиться удешевления водонагревательного устройства и экономии топлива в системе теплоснабжения за счет сокращения тепловых потерь при транспорте теплоносителя.

Связь работы с крупными научными программами, темами.

Работа выполнялась в рамках госбюджетных тем, финансируемых и утвержденных МО РБ.

• 01/209 “Централизованное теплоснабжение с доводчиками” Брест 2001 № ГР 20012925

• 01/219 “Исследование и применение нестационарных топочных процессов” Брест 2002 № ГР 20011023

• 02/204 “Централизованное теплоснабжение с доводчиками” Брест 2002 № ГР 20022159

Цель и задачи исследования. Цель – разработка физико-математической модели процесса слоевого пульсирующего горения, а также конструкции корректирующего водонагревателя, использующего этот процесс для применения его в системах теплоснабжения.

Задачи исследования.

1. Исследовать системы централизованного и децентрализованного теплоснабжения; методы по их усовершенствованию, выявить их достоинства и недостатки. Оценить эффективность применения корректирующего водонагревателя, требования к его разработке.
2. Исследовать процесс слоевого пульсирующего горения как высокоэффективный способ сжигания топлива. Составить физико-математическую модель процесса с учетом характеристик горения.
3. Провести численные эксперименты для аналитического представления физической картины процесса.
4. Разработать экспериментальный стенд и провести опыты по исследованию процесса слоевого пульсирующего горения жидкого топлива.
5. Разработать конструкцию водонагревателя, использующего процесс слоевого пульсирующего горения жидкого топлива.

Объект исследования. В настоящей работе объектом исследования является новое топочное устройство, использующее процесс слоевого пульсирующего горения жидкого топлива.

Гипотеза. Предполагается, что автоколебания газового столба в топочном устройстве, приводящие к интенсификации теплообмена и улучшению теплотехнических характеристик огневого водонагревателя, возникают при определенных физических условиях, которые требуется уточнить.

Методология и методы исследования.

Методология исследования:

- 1) разработка физико-математической модели процесса слоевого пульсирующего горения;
- 2) проведение численных экспериментов;
- 3) вывод основных зависимостей;
- 4) конструирование водонагревателя.

Методы исследования:

- 1) проведение численных экспериментов физико-математической модели процесса производилось методом Рунге-Кутты на компьютере с использованием математического пакета MATCAD и пакета EXCEL.
- 2) определение характеристик экспериментального водонагревателя проводилось по общепринятой методике.

Научная новизна полученных результатов. Впервые разработана физико-математическая модель процесса слоевого пульсирующего горения жидкого топлива с использованием характеристик процесса горения. Впервые разработана конструкция водонагревателя на жидком топливе, использующего этот процесс, с глушителем шума по огневой части, который также является утилизатором тепла.

Практическая значимость полученных результатов.

Технический эффект – новое, высокоэффективное топочное устройство на жидком топливе.

Организационный эффект – разработка топочного оборудования с целью использования на территории РБ и в странах ближнего и дальнего зарубежья.

Экономический эффект – замена существующего топочного оборудования более дешевым; экономия топлива при работе систем теплоснабжения.

Экологический эффект – обеспечение качественного дожигания жидкого топлива без вредных выбросов в окружающую среду.

Социально-экономический эффект – использование относительно дешевого топочного оборудования для промышленного и коммунального теплоснабжения.

Результаты исследований используются в курсе лекций “Основы энергосбережения” и “Инженерные сети”.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту. Физико-математическая модель процесса слоевого пульсирующего горения жидкого топлива, выражение для определения оптимальных геометрических параметров горелки, конструкция водонагревателя, использующего этот процесс.

Личный вклад соискателя. Разработка физико-математической модели процесса слоевого пульсирующего горения жидкого топлива, схемы водонагревателя, использующего этот процесс, проведение экспериментов по исследованию процесса слоевого пульсирующего горения жидкого топлива, конструирование водонагревателя.

Апробация результатов диссертации. Республиканская НТК студентов и аспирантов ГГУ, г. Гродно 2000; 54-я международная НТК, БГПА, г. Минск 2000; 55-я международная НТК, БНТУ, г. Минск 2002; международная НТК г. Гродно 2000; 4 international school-seminar "Modern problems of combustion and its application" Minsk 2001; 6 international school-seminar "Nonequilibrium processes and their application" Minsk 2002; белорусско-польский научно-практический семинар Брест БГТУ 2002.

Опубликованность результатов. По теме диссертации опубликовано 3 статьи в научных журналах (без соавторов), 7 материалов НТК.

Общее количество страниц опубликованных материалов составляет 28 страниц.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из общей характеристики, четырех глав, заключения и списка использованных источников из 73 наименований.

Объем работы составляет 89 страниц, включая 63 страницы машинописного текста, 8 таблиц, 42 рисунка.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе на основе анализа современного состояния систем теплоснабжения и методов по их усовершенствованию сделан вывод о целесообразности разработки высокоэффективного корректирующего водонагревателя для дополнительного подогрева теплоносителя. Показано, что наиболее целесообразно применять корректирующий водонагреватель в существующих системах централизованного теплоснабжения следующим образом: по тепловым сетям транспортировать теплоноситель с пониженной температурой, а корректирующий водонагреватель устанавливать перед потребителем как устройство для подогрева воды до необходимой потребителю температуры. При этой схеме общий расход топлива на центральном источнике теплоты и корректирующем водонагревателе меньше, чем в обычной схеме на центральном источнике теплоты за счет снижения расхода топлива, необходимого для компенсации потерь теплоты при транспорте теплоносителя.

Сделан вывод о том, что эффективность применения корректирующего водонагревателя в системах теплоснабжения в большой степени зависит от затрат на сам водонагреватель, поэтому требования, предъявляемые к нему, следующие: простота конструкции, надежность, высокий КПД, дешевизна.

Рассмотрен высокоэффективный способ сжигания топлива — пульсирующее горение, а также его разновидность — слоевое пульсирующее горение. Физическая картина процесса слоевого пульсирующего горения заключается в следующем. В любой трубе могут происходить свободные колебания газового столба. Если в момент сжатия нагревать газ, то газовая система способна производить работу расширения. В момент расширения теплоподвод к газу должен быть минимальным. Проникая через слой, воздух получает тепло при движении снизу вверх, и почти не подогревается в противоположном направлении. Акустическое смещение максимально по торцам трубы, поэтому эффект переменного теплоподвода максимален в этих местах, однако он должен реализовываться в фазе сжатия, то есть зону горения необходимо размещать между пучностями давления и скорости (пучность акустических смещений и узел давлений находятся на торце трубы, а узел смещений и пучность давления — посредине трубы). Таким образом, горящее топливо должно располагаться на $\frac{1}{4}$ от нижнего торца трубы.

Проанализированы положительные и отрицательные свойства слоевого пульсирующего горения. Описаны известные опытные установки для исследования процесса. Рассмотрены физико-математические модели слоевого пульсирующего горения и указаны их недостатки. Осуществлена постановка задач исследования.

Во второй главе рассмотрен процесс слоевого пульсирующего горения жидкого топлива.

С учетом характеристик процесса горения и скачков скоростей и давления в слое была предложена схема, иллюстрирующая процесс слоевого пульсирующего горения в устройстве, показанном на рис. 1, где горелкой является плоскость с воздушными трубочками.

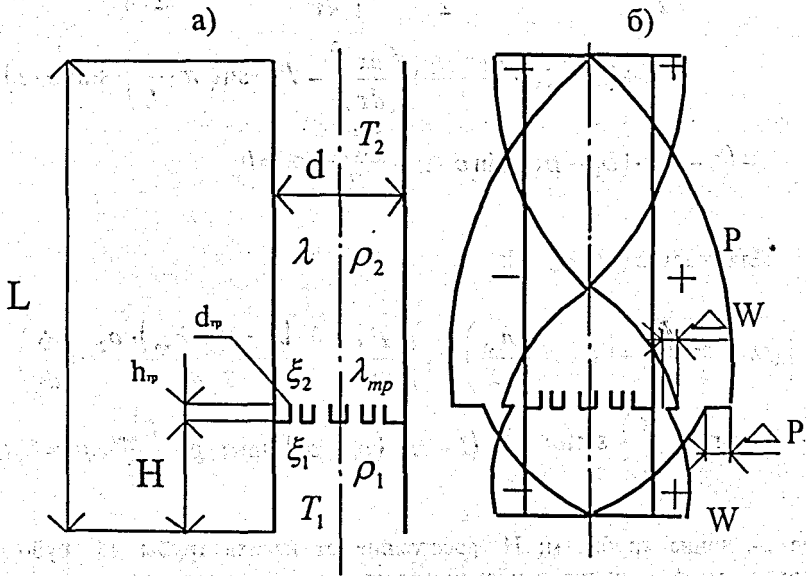


Рис. 1. Расчетная схема процесса слоевого пульсирующего горения а) конструктивная схема; б) эпюры давления и скорости

На газовый поток, колеблющийся в трубе, действуют: 1) силы, отнесенные к поперечному сечению трубы – сила, идущая на ускорение газового потока; сила, идущая на преодоление газовым потоком трения по длине трубы, воздуховода и в трубочках горелки; сила, идущая на преодоление газовым потоком потерь на трение в местных сопротивлениях в слое; 2) акустическое давление; самотяга; динамическое давление от внешнего источника.

Предлагаемая в данной работе физико-математическая модель процесса состоит из следующих дифференциальных уравнений движения газа.

Для участка $[0; H]$:

$$\left(\left(H + \frac{h_{гр}}{2} \right) \cdot \rho_1 + \left(L - H - \frac{h_{гр}}{2} \right) \cdot \rho_2 \right) \cdot \frac{d^2 x}{d\tau^2} + \frac{\lambda \cdot H \cdot \rho_1}{2 \cdot d} \cdot \left(\frac{dx}{d\tau} \right)^2 - P_a \cdot \sin \left(\pi \cdot \frac{x}{L} \right) \cdot \sin(\omega \cdot \tau) - (L - H) \cdot (\rho_1 - \rho_2) \cdot \sin \alpha \cdot g - \frac{V_{const}^2}{2} \cdot \rho_1 = 0 \quad (1)$$

Для участка $[H; H+h_{mp}]$:

$$\begin{aligned} & \left((H + \frac{h_{mp}}{2}) \cdot \rho_1 + \left(L - H - \frac{h_{mp}}{2} \right) \cdot \rho_2 \right) \cdot \frac{d^2 x}{d\tau^2} + \left(\frac{\lambda_{mp} \cdot h_{mp} \cdot (\rho_1 + \rho_2)}{4 \cdot d_{mp}} + \right. \\ & \left. + (\zeta_1 + \zeta_2) \cdot \frac{\rho_1 + \rho_2}{4} \right) \cdot \left(\frac{dx}{d\tau} \right)^2 - P_a \cdot \sin\left(\pi \cdot \frac{x}{L}\right) \cdot \sin(\omega \cdot \tau) - \\ & - (L - H) \cdot (\rho_1 - \rho_2) \cdot \sin \alpha \cdot g - \frac{V_{const}^2}{2} \cdot \rho_1 = 0. \end{aligned} \quad (2)$$

Для участка $(H+h_{mp}; L]$:

$$\begin{aligned} & \left((H + \frac{h_{mp}}{2}) \cdot \rho_1 + \left(L - H - \frac{h_{mp}}{2} \right) \cdot \rho_2 \right) \cdot \frac{d^2 x}{d\tau^2} + \frac{\lambda \cdot (L - H - h_{mp}) \cdot \rho_2}{2 \cdot d} \cdot \left(\frac{dx}{d\tau} \right)^2 - \\ & - P_a \cdot \sin\left(\pi \cdot \frac{x}{L}\right) \cdot \sin(\omega \cdot \tau) - (L - H) \cdot (\rho_1 - \rho_2) \cdot \sin \alpha \cdot g - \frac{V_{const}^2}{2} \cdot \rho_1 = 0, \end{aligned} \quad (3)$$

где L - длина трубы, м; H - расстояние от начала трубы до трубочек горелки, м; h_{mp} - длина трубочек горелки, м; ρ_1 - плотность воздуха на участке $[0; H]$, кг/м^3 ; ρ_2 - плотность газа на участке $(H+h_{mp}; L]$, кг/м^3 ; x - координата частицы газа, м; τ - время движения частицы газа, с; P_a - амплитудное значение давления газа, Па; ω - угловая скорость, с^{-1} ; α - угол наклона трубы; g - ускорение свободного падения, м/с^2 ; V_{const} - скорость движения воздуха от внешнего источника, м/с; λ - коэффициент гидравлического трения для трубы; d - диаметр трубы, м; λ_{mp} - коэффициент гидравлического трения для трубочек горелки; d_{mp} - диаметр трубочек горелки, м; h_{mp} - длина трубочек горелки, м; ζ_1, ζ_2 - коэффициенты местных сопротивлений на входе и на выходе из трубочек горелки соответственно.

Характеристики горения учтены в зависимости

$$P_a = \frac{0.25 \cdot Q_n^p \cdot B}{V_m \cdot f \cdot k}, \quad (4)$$

где P_a - амплитудное значение давления газа, Па; Q_n^p - низшая теплота сгорания топлива, Дж/кг; B - расчетный расход топлива, кг/час; V_m - внутренний объем трубы, м^3 ; k - коэффициент перехода от факельного горения к слоевому (определяется эмпирически); f - частота колебаний газа, Гц.

Для анализа процесса проведены численные эксперименты. Основные геометрические размеры модели (рис. 1), которые в дальнейшем варьировались, следующие: $H=0,5$ м, $L=2$ м, $d=0,15$ м, горелки: $h_{mp}=0,018$ м, $d_{mp}=0,006$ мм, количество трубочек горелки – 75 штук. Решены дифференциальные уравнения (1...3) в программе MATHCAD методом Рунге-Кутты и эти решения скомбинированы на промежутках соответственно $[0; H]$, $[H; H+h_{mp}]$, $(H+h_{mp}; L]$.

Путем изменения геометрических характеристик проведено исследование (и построены графические зависимости) влияния на процесс изменения длины трубы, угла наклона трубы, самотяги, потерь на трение по длине трубы, потерь давления в слое, амплитудного значения давления газа. Получены графики перемещения частиц газа во времени при изменении амплитудного значения давления, примеры которых при площадях зеркала горения 0,01; 0,012; 0,014; 0,016 показаны на рис. 2.

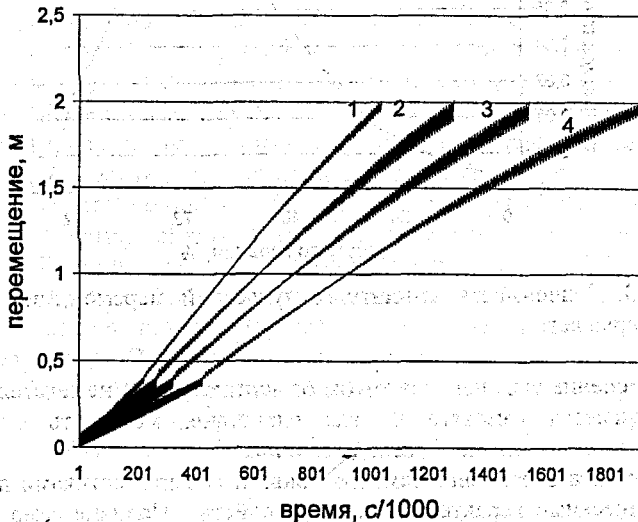


Рис. 2. Перемещение частицы газа во времени при изменении амплитудного значения давления

Рассмотрены зависимости количества воздуха, поступающего для горения и расхода топлива. Построена зависимость амплитуды пульсаций перемещения от площади зеркала горения при прохождении газом точки, удаленной на 0,2 м от нижнего торца трубы при различных решениях дифференциального уравнения (1...3) (рис. 3).

На основе результатов численных экспериментов сделаны следующие выводы:

1. Из рис.2 видно, что максимальная амплитуда пульсаций – по торцам трубы, минимальная – посредине трубы, то есть пучность смещения находится посредине трубы, узлы смещения – по концам трубы. Скачок перемещения – в трубочках горелки за счет изменения скорости движения воздуха из-за изменения сечения. После прохождения газом трубочек горелки за счет горения происходит увеличение скорости движения газа, что на рисунке иллюстрируется разным углом наклона частей графиков после координат, соответствующих местоположению горелки по отношению к углу наклона частей графиков, соответствующих расстоянию до горелки.

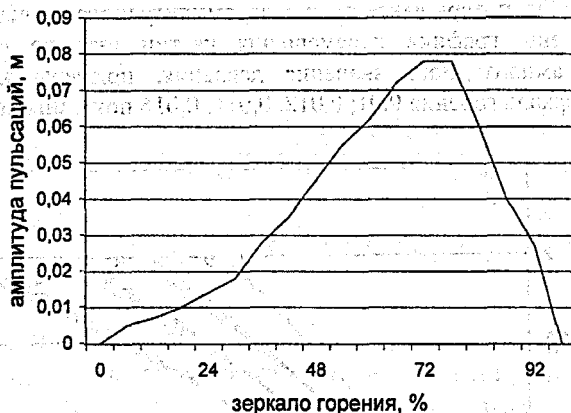


Рис. 3. Зависимость амплитуды пульсаций перемещения газа от площади зеркала горения

2. Изменение угла наклона трубы от вертикального нежелательно, так как уменьшается самотяга и, как следствие, мощность топочного устройства за счет меньшего расхода топлива.

3. Самотяга ограничена температурными характеристиками процесса и геометрическими характеристиками устройства. Наличие самотяги или внешнего источника обязательно для развития пульсаций.

4. Потери на трение по длине трубы влияют на процесс незначительно. Таким образом, шероховатость трубы или рассредоточенные местные сопротивления не являются важным условием при проектировании топочного устройства, то есть возможно размещение развитых поверхностей теплообмена внутри устройства.

5. Потери в слое изменяются за счет увеличения или уменьшения количества, диаметра и длины трубочек горелки, при этом происходит уменьшение или увеличение площади зеркала горения. При изменении площади зеркала горения изменяется амплитуда пульсаций смещения газа, которая в основном зависит от изменения амплитудного значения

давления. На основе зависимостей количества воздуха, поступающего для горения, и расхода топлива с учетом результатов анализа изменения амплитуды пульсаций смещения газа получено выражение для нахождения оптимальных геометрических размеров горелки в данном топочном устройстве.

$$S_{32}^{om} = \frac{1}{\frac{V_z}{V_e^{max}} \cdot K \cdot S_{32}^{max} + 1}, \quad (5)$$

где S_{32}^{om} – относительное значение зеркала горения; S_{32}^{max} – максимальное значение зеркала горения, т. е. площадь поперечного сечения трубы, m^2 ; V_e^{max} – максимальный расход воздуха, $m^3/ч$; K – поверхностная скорость горения топлива, $кг/(m^2 \cdot ч)$; V_z – объем газов на 1 кг топлива при 760 мм.рт.ст. и $0^\circ C$, $m^3/кг$.

В третьей главе приведены опытные данные по исследованию процесса слоевого пульсирующего горения, обнаруженные в результате патентного поиска, а также экспериментальные данные автора.

Для исследования процесса слоевого пульсирующего горения жидкого топлива использовалась лабораторная установка, показанная на рис.4. Она состоит из вертикального корпуса, внутри которого смонтирован теплообменник трубчатого типа. Под теплообменником расположена камера сгорания (это часть корпуса), дном которой является горелка. Конструкция горелки выполнена на основе уравнения, полученного в главе 2. В горелку ввальцованы патрубки для подвода снизу воздуха. Жидкое топливо (соляр) подается в горелку самотеком по топливopроводу. В боковой стенке камеры сгорания смонтирована гляделка для розжига и измерений. Топливо поджигается через гляделку посредством факела. Продукты сгорания поднимаются в теплообменник, а затем через дымовую трубу удаляются в атмосферу. Воздух для горения поступает через колено в патрубки для подачи воздуха, над которыми смешивается с парами топлива.

В этих опытах температуры воздуха, воды, газа измерялись термометрами и хромель-алюмелевыми термопарами, вторичный прибор – потенциометр. Температура пламени измерялась оптическим пирометром ОПИР-017. Расходы воды и топлива измерялись весовым методом. Скорость воздуха определялась при помощи анемометра. Сила звука измерялась при помощи шумомера ИШ-5. Анализ состава дымовых газов производился при помощи газоанализатора ГХП-3 (измерялись концентрации RO_2 и O_2) и индикаторных трубок (измерялась концентрация CO).

При проведении опытов были получены следующие данные: температура воды на входе 15...20 °С, на выходе 60...90 °С; температура уходящих газов 180...260 °С; температура в факеле 900...1200 °С; температура наружного воздуха 15...18 °С; скорость воздуха на входе 0,5...1,5 м/с; расход топлива 1,8; 2; 2,5 кг/ч; расход воды 50...100 кг/ч; сила звука на расстоянии 1 м 90...100 дБ; содержание уходящих газов: $RO_2=10\text{...}12\%$, $O_2=0\text{...}5\%$, $CO=0\text{...}3\%$. Эти данные согласуются с известными по работам других авторов.

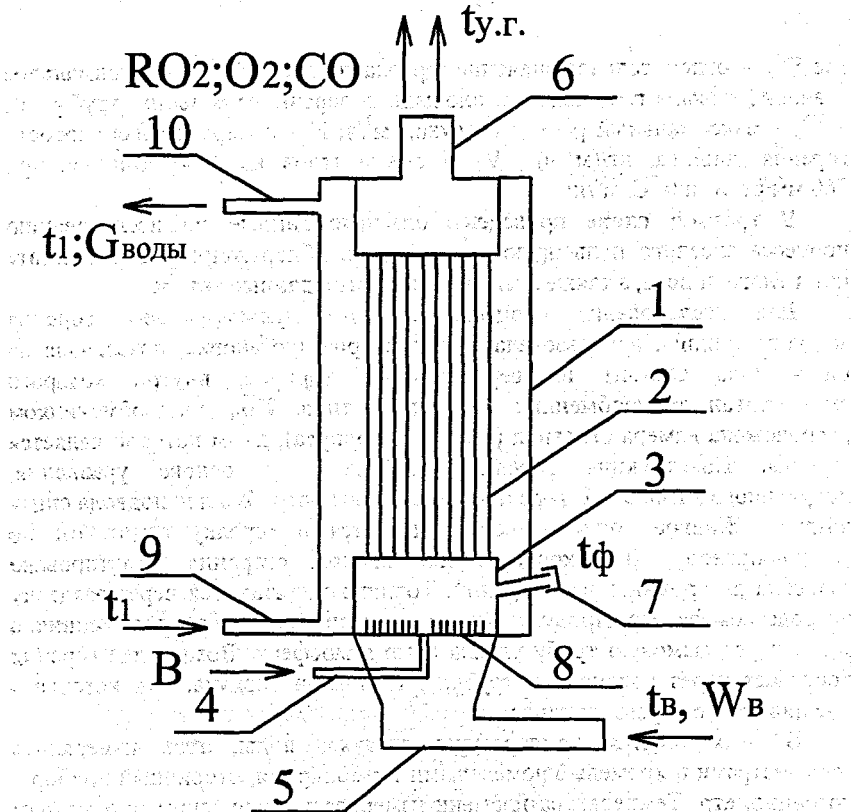


Рис. 4. Установка для исследования слоевого пульсирующего горения жидкого топлива:

- 1-корпус; 2-пучок труб; 3-камера сгорания; 4-топливопровод;
- 5-воздуховод; 6-дымовая труба; 7-гляделка; 8-горелка; 9-патрубок для подачи воды; 10-патрубок для отвода воды

В результате анализа опытных данных сделаны следующие выводы:

1. Температура уходящих газов относительно высокая, но в лабораторной установке не преследовалась цель глубокого охлаждения газов. Так как внесение в объем трубы-топки посторонних тел не ухудшает пульсационного режима, то возможно снизить температуру уходящих газов за счет установки в трубе развитых поверхностей нагрева.

2. Температура в факеле несколько ниже, чем при обычном горении за счет того, что часть энергии идет на развитие колебаний газа. Хотя уменьшается радиационный теплообмен, однако это уменьшение компенсируется значительным увеличением конвективного теплообмена за счет пульсаций.

3. Температура окружающего воздуха в опытах довольно высока. Известно, что чем больше температура окружающего воздуха, тем это хуже для режима слоевого пульсирующего горения. Поэтому можно сделать вывод о том, что при более низких температурах окружающей среды (например, для зимних условий) режим будет еще более устойчив.

4. Скорость воздуха в устройстве может задаваться самотягой или тяго-дутьевыми устройствами.

5. Сила звука составляет 90...100 дБ. Для факельного пульсирующего горения эта величина – порядка 110...140 дБ, таким образом легче провести мероприятия по глушению шума для установки, использующей слоевое пульсирующее горение.

6. Степень выгорания топлива соответствует высокофорсированным огневым устройствам. В некоторых опытах наблюдалось увеличение содержания CO (до 3%), обусловленное передозировкой топлива. Значение CO при нормальном режиме от 0 до 0,2%. Коэффициент избытка воздуха в опытах был в диапазоне 1,1...2, при этом пульсации не нарушались, поэтому параметры топочного процесса регулируются в большом диапазоне с сохранением процесса слоевого пульсирующего горения.

7. Устройство простое в изготовлении и эксплуатации, надежное, имеет малое гидравлическое сопротивление по воде, отсутствуют насосы, форсунки, фильтры.

Описанные экспериментальные данные автора и взятые из работ по исследованию слоевого пульсирующего горения показывают перспективность процесса при создании нового топочного оборудования.

В четвертой главе предложена конструкция корректирующего водонагревателя, использующего процесс слоевого пульсирующего горения жидкого топлива. Основное отличие данного водонагревателя от известных – глушение шума на выходе из акустической системы, наряду с этим конструкция для шумоглушения исполняет функции теплоизолятора.

Водонагреватель (рис. 5) состоит из вертикального цилиндрического корпуса 1, в котором находится жаровая труба 2, внутри которой

расположены теплообменные трубы 3 со сборными коллекторами 4. Между фланцами воздуховода 5 и жаровой трубы зафиксирована горелка 6 в виде плоского дна, в которой смонтированы трубы для подвода воздуха. Топливопровод 7 введен в горелку снизу через воздуховод. Под воздуховодом находится глушитель 8 со слоем шумогасящего материала, в котором расположен вентилятор 9. Снизу цилиндрического корпуса смонтирована гляделка 10 для наблюдения за процессом горения. На цилиндрическом корпусе находится кожух 11, внутри которого находятся теплообменные трубы 12, которые образуют конструкцию наподобие "беличьего колеса". Снизу в цилиндрический корпус введен патрубок для подвода воды 13. Сверху над кожухом 11 находится кольцевая полость 14, играющая роль коллектора, с патрубком для отвода воды 15. Над кольцевой полостью находится дымовая труба 16.

Водонагреватель работает следующим образом. В нижний коллектор, которым является водяная рубашка между цилиндрическим корпусом 1 и жаровой трубой 2 подается вода через патрубок для подвода воды 13. По топливопроводу 7 самотеком подается жидкое топливо (соляр, печное топливо) на горелку 6. Расход топлива регулируется при помощи дозатора, работающего по принципу сообщающихся сосудов. В горелке 6 на плоском ее дне между трубами для подвода воздуха устанавливается слой топлива 2...10 мм. Затем это топливо поджигается через гляделку 10. Воздух для горения поступает по воздуховоду 5 через глушитель 8, где шум, возникающий в результате горения, частично гасится. В устройстве возникают автоколебания газового столба (режим слоевого пульсирующего горения), что физически означает возникновение стоячей акустической волны с пучностью давления в середине цилиндрического корпуса 1. Продукты сгорания поднимаются вверх, где их теплота утилизируется в водоохлаждаемых теплообменных трубах 3, сборных коллекторах 4 и в теплообменных трубах 12. При помощи конструкции, состоящей из кожуха 11 и теплообменных трубок 12, осуществляется снижение уровня шума. Нагретая вода по патрубку для отвода воды 15 из кольцевой полости 14 подается потребителю. Продукты сгорания удаляются через дымовую трубу 16.

Конструкция для глушения шума на выходе из зоны горения, состоящая из кожуха и теплообменных трубок, работает по принципу резонансного глушителя, т.е. колебания газа происходят между трубками благодаря объему полости кожуха. Эта часть устройства является подобием резонатора Гельмгольца, где полость резонатора – объем кожуха, горло – сумма щелей между теплообменными трубками.

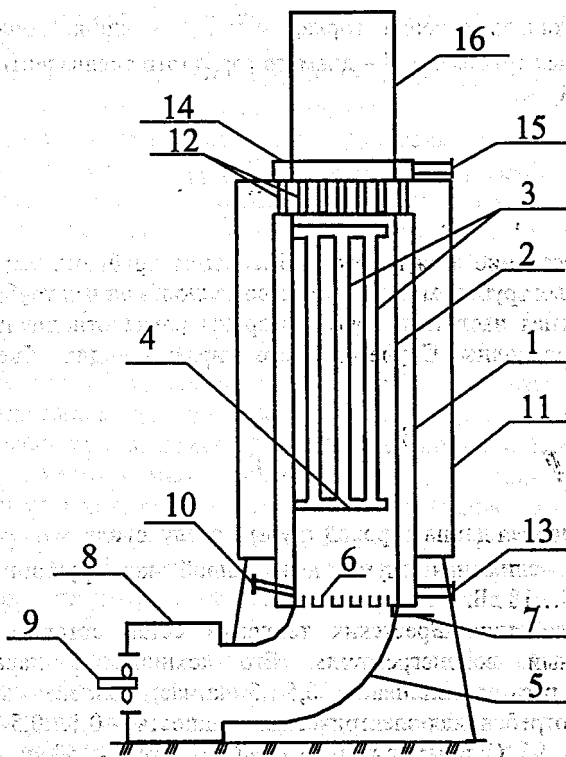


Рис. 5. Схема корректирующего водонагревателя:

- 1-цилиндрический корпус; 2-жаровая труба; 3-теплообменные трубки; 4-сборный коллектор; 5-воздуховод; 6-горелка; 7-топливопровод; 8-глушитель; 9-вентилятор; 10-гляделка; 11-кожух; 12-теплообменные трубки; 13- патрубок для подвода воды; 14-кольцевая полость; 15-патрубок для отвода воды; 16-дымовая труба

Размеры конструкции для глушения шума определяются из условия для резонансной частоты f_p , при которой наблюдается максимальное поглощение энергии по формуле

$$f_p = \frac{c}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{R}{W}}, \quad (6)$$

где R - проводимость горла отверстия

$$R = \frac{S}{l_{\text{oms}} + 0.8 \cdot d}, \quad (7)$$

где S – площадь сечения горла, m^2 ; $l_{гне}$ – длина горла (диаметр теплообменных трубок), м; d – диаметр горла (это эквивалентный диаметр суммы щелей), м.

$$S = \sum_{i=1}^n (a \cdot l), \quad (8)$$

где a – расстояние между теплообменными трубками, м; l – длина теплообменных трубок, м; n – количество теплообменных трубок, шт.

Резонансная частота с другой стороны равна отношению скорости звука к длине волны. С учетом этого выражение для объема полости кожуха W

$$W = \frac{R}{(\pi / L_{гне})^2}, \quad (9)$$

где $L_{гне}$ – суммарная длина жаровой трубы и воздуховода, м

Уровень снижения шума для данной конструкции глушителя составляет 15...18 дБ.

При содействии Брестских тепловых сетей автором изготовлен вышеописанный водонагреватель. Его технические характеристики следующие: расход топлива – 0,5...3 кг/час; тепловая мощность – 5...25 кВт; потребляемая электрическая мощность – 0,1...0,5 кВт; нагрев воды до – 50...95 °С; габариты – 0,7×0,7×1,8 м; масса – 150 кг.

Проведен технико-экономическая оценка и сделан вывод о дешевизне предлагаемой конструкции корректирующего водонагревателя по отношению к котлам на жидком топливе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Анализ современного состояния систем теплоснабжения и методов по их усовершенствованию показал целесообразность использования корректирующего водонагревателя в качестве устройства для добавочного подогрева теплоносителя перед потребителем в некоторых случаях (пиковый подогрев, теплоснабжение отдаленных потребителей, низкотемпературное теплоснабжение). Эффективность применения корректирующего водонагревателя в системах теплоснабжения в большой степени зависит от затрат на сам водонагреватель. Поэтому требования, предъявляемые к нему, следующие: простота конструкции, надежность, высокий КПД, дешевизна. [1,2,4...6]

2. Одним из высокоэффективных способов сжигания топлива является слоевое пульсирующее горение. Недостатком существующих исследований по слоевому пульсирующему горению является отсутствие физико-математического описания явления, позволяющего определить

основные геометрические размеры горелки в устройстве, использующем этот процесс.

Предложенная в данном исследовании схема процесса слоевого пульсирующего горения жидкого топлива с учетом характеристик процесса горения и скачков скоростей и давления в слое позволила на основе анализа сил, действующих на газ, разработать физико-математическую модель процесса, благодаря которой возможно: аналитически представлять автоколебательный процесс; оценивать влияние аэродинамики горелки на движение газа; определять условия достижения максимальной амплитуды пульсаций смещения; определять соотношения различных параметров, позволяющих определить оптимальные размеры топочного устройства [3,10].

3. Проведенные численные эксперименты позволяют определить условия достижения максимальной амплитуды пульсаций смещения, выявить тенденции изменения некоторых режимных и конструктивных параметров, необходимых для разработки водонагревателя с использованием автоколебаний газового столба. Получено уравнение для определения оптимальных геометрических размеров горелки. Его целесообразно использовать при проектировании конкретных устройств, использующих процесс слоевого пульсирующего горения жидкого топлива [7].

4. Для подтверждения физико-математической модели проведен ряд экспериментов. Экспериментальные данные опытов по исследованию процесса слоевого пульсирующего горения жидкого топлива показали возможность создания топочного оборудования, использующего этот процесс, с удовлетворительными техническими показателями.

В данной работе предлагается конструкция водонагревателя, использующего процесс слоевого пульсирующего горения жидкого топлива. Основное отличие данного водонагревателя от известных – глушение шума на выходе из акустической системы, наряду с этим конструкция для шумоглушения исполняет функции теплоизолятора [8,9].

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Новосельцев В.Г. Анализ потерь теплоты в существующих системах централизованного теплоснабжения// Вестник БГТУ.-2001.-№2.- С. 51-52.

2. Новосельцев В.Г. Комбинирование систем централизованного и местного теплоснабжения// Вестник БПИ.-2000.-№2.- С. 66-68.

3. Новосельцев В.Г. Процесс слоевого пульсирующего горения // Вестник БГТУ. – 2002. – №2. – С. 14-16.

4. Новосельцев В.Г. Усовершенствование систем централизованного теплоснабжения: Материалы республиканской НТК.- Гродно, 2000.- Ч. 5. – С. 406-410.

5. Новосельцев В.Г. Об улучшении систем централизованного теплоснабжения: Материалы 54-й международной НТК.- Минск, 2000.- С.74.

6. Северянин В.С., Новосельцев В.Г. Система централизованного теплоснабжения с доводчиками: Материалы международной НТК.- Гродно, 2000. - С. 406-410.

7. V.S.Severyanin, V.G.Novoseltsev About oscillatory processes at layer pulsing burning: contributed papers of 6 international school-seminar "Nonequilibrium processes and their application".- Minsk, 2002.- С. 169-171

8. V.S.Severyanin, V.G.Novoseltsev Fire leader with layer pulsing burning for systems of heating: contributed papers of 4 international school-seminar "Modern problems of combustion and its application".- Minsk, 2001. - С.110-112.

9. Северянин В.С., Новосельцев В.Г. Отопительный доводчик со слоевым пульсирующим горением: Материалы международной НТК МГТУ.- Москва, 2000. - С. 172.

10. Новосельцев В.Г. Физика слоевого пульсирующего горения: Материалы 55-й международной НТК.- Минск, 2002. - С. 303-307.

Навасельцаў Уладзімір Генадзевіч

**РАСПРАЦОЎКА КАРЭКЦІРУЮЧАГА ВОДАНАГРАВАЛЬНІКА
СА СЛАЯВЫМ ПУЛЬСУЮЧЫМ ГАРЭННЕМ У СІСТЭМАХ
ЦЕПЛАЗАБЕСПЯЧЭННЯ**

Слаявое пульсуючае гарэнне, воданагравальнік, цэнтралізаванае і дэцэнтралізаванае цеплазабеспячэнне, акустычнае зрушэнне, стаячая хваля, аўтавагальны працэс, амплітуда пульсацый.

У працы аб'ектам даследавання з'яўляецца новае топачнае ўстройства, якое выкарыстоўвае працэс слаявога пульсуючага гарэння.

Мэта работы – распрацоўка фізіка-матэматычнай мадэлі працэсу слаявога пульсуючага гарэння, а таксама воданагравальніка, які скарыстоўвае гэты працэс для ўжывання яго ў сістэмах цеплазабеспячэння.

Лічбавыя эксперыменты на аснове фізіка-матэматычнай мадэлі працэсу праводзіліся метадам Рунге-Куты на камп'ютэры з выкарыстаннем матэматычнага пакета MATHCAD і пакета EXCEL.

Упершыню распрацавана фізіка-матэматычная мадэль працэсу слаявога пульсуючага гарэння вадкага паліва з выкарыстаннем характарыстык працэсу гарэння. Упершыню распрацавана канструкцыя воданагравальніка, які скарыстоўвае гэты працэс, з глушальнікам шуму па агнявой частцы, які з'яўляецца таксама уцілізатарам цяпла.

Галіна ўжывання – сістэмы цеплазабеспячэння.

РЕЗЮМЕ

Новосельцев Владимир Геннадьевич

РАЗРАБОТКА КОРРЕКТИРУЮЩЕГО ВОДОНАГРЕВАТЕЛЯ
СО СЛОЕВЫМ ПУЛЬСИРУЮЩИМ ГОРЕНИЕМ В СИСТЕМАХ
ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Слоевое пульсирующее горение, водонагреватель, централизованное и децентрализованное теплоснабжение, акустическое смещение, стоячая волна, автоколебательный процесс, амплитуда пульсаций.

В настоящей работе объектом исследования является новое топочное устройство, использующее процесс слоевого пульсирующего горения.

Цель работы - разработка физико-математической модели процесса слоевого пульсирующего горения, а также водонагревателя, использующего этот процесс для применения его в системах теплоснабжения.

Численные эксперименты на основе физико-математической модели процесса производилось методом Рунге-Кутты на компьютере с использованием математического пакета MATHCAD и пакета EXCEL.

Впервые разработана физико-математическая модель процесса слоевого пульсирующего горения жидкого топлива с использованием характеристик процесса горения. Впервые разработана конструкция водонагревателя на жидком топливе, использующего этот процесс, с глушителем шума по огневой части, который также является утилизатором тепла.

Область применения – системы теплоснабжения.

SUMMARY

Novoseltsev Vladimir

WORKING OUT CORRECTING WATER HEATER WITH LAYER PULSATING COMBUSTION IN SYSTEMS OF HEATING

Layer pulsating combustion, water heater, centralized and decentralized systems of heating, acoustic offset, standing wave, self-sustained oscillations, amplitude of fluctuations.

In the present work the object of the research is the new firing installation operating process of a layering pulsating combustion.

The purpose of the work – is to work out of the physical and mathematical model of process of a layer pulsating combustion, and also to work out the water heater using this process for applying it in the systems of heating.

Conductings of numerical experiments of the physical and mathematical model of process was carried out by a Runge-Kutta method on the computer making use of the mathematical parcel MATHCAD and parcel EXCEL.

The physical and mathematical model of process of a layer pulsating combustion of liquid fuel with the use of the characteristics of the process of combustion is designed for the first time. A construction of water heater working on liquid fuel using this process, with a silencer by a hot-fire part is designed for the first time, which is also the utilizator of heat.

Sphere of application – systems of heating.

НОВОСЕЛЫЦЕВ Владимир Геннадьевич

**РАЗРАБОТКА КОРРЕКТИРУЮЩЕГО ВОДОНАГРЕВАТЕЛЯ
СО СЛОВЫМ ПУЛЬСИРУЮЩИМ ГОРЕНИЕМ В СИСТЕМАХ
ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**

05.14.04 – Промышленная теплоэнергетика

**Автореферат диссертации на соискание
ученой степени кандидата технических наук**

Корректор Антонова М.П.

Подписано в печать 03.04.2003.

Формат 60x84 1/16. Бумага типографская №2.

Печать офсетная. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 1,2. Уч.-изд. л. 0,9. Тираж 100. Заказ 246.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусская государственная политехническая академия.

Лицензия ЛВ №155 от 30.01.2003. 220013, Минск, проспект Ф.Скорины, 65.