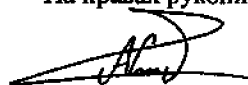


На правах рукописи



Стрельников Алексей Сергеевич

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЖИГАНИЯ
НИЗКОСОРТНЫХ ТВЕРДЫХ ТОПЛИВ В КОТЛАХ МАЛОЙ
МОЩНОСТИ**

Специальность 05.23.03 – Теплоснабжение, вентиляция,
кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение

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

Иркутск – 2006

Работа выполнена на кафедре тепловые электрические станции Читинского государственного университета.

Научный руководитель кандидат технических наук, доцент
Иванов Сергей Анатольевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Степанов Владимир Сергеевич

кандидат технических наук, доцент
Бочкарев Виктор Александрович

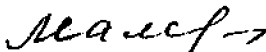
Ведущая организация ОАО «Читаэнерго»

Защита диссертации состоится 15 декабря 2006 г. в 09 час 30 мин в конференц-зале на заседании диссертационного совета К 212.073.01 Иркутского государственного технического университета по адресу: 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Иркутского государственного технического университета.

Автореферат разослан 14 ноября 2006 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

 Малеская М.Б.

Актуальность темы

В настоящее время особую актуальность приобретает проблема эффективного сжигания твердого топлива в отопительных и промышленных котельных установках малой мощности.

Основными факторами, определяющими важность данного вопроса, являются не только отказ от централизованного теплоснабжения и установка в новых зданиях индивидуальных отопительных котлов, но и отсутствие эффективных технологий сжигания твердого топлива в них. В результате этого во многих городах небольшие по мощности котельные сжигают большое количество топлива, и определяют уровень приземной концентрации токсичных загрязнителей.

Поступление в атмосферу огромных объемов продуктов сгорания топлива от котлов малой мощности, промышленных печей, а также отработанных газов автомобилей изменяет состав атмосферного воздуха, приближая концентрации вредных веществ к опасным по биологическому действию на человека.

Технология слоевого сжигания твердого топлива и конструкции котлов со слоевыми топками появились во второй половине XIX – первой половине XX веков (в России это работы А.В. Вихрова, Л.К. Рамзина, В.Г. Шухова, Т.Т. Усенко и многих других). Затем в связи с переходом на сжигание жидких и газообразных топлив, а также на факельное сжигание твердых топлив внимание к слоевому сжиганию было снижено, что послужило причиной технического отставания нашей страны в данном вопросе.

В последние четверть века велись интенсивные исследования условий эффективного сжигания различных топлив и образования при этом вредных выбросов. При этом усилия специалистов были нацелены на поиск методов и механизмов организации и управления процессами горения, позволяющих минимизировать выбросы в атмосферу вредных ингредиентов и повысить КПД топливосжигающих установок.

Необходимость в продолжении таких исследований применительно к малой энергетике остается, что объясняется следующими факторами. Во-первых, известные подходы к решению проблемы эффективного сжигания твердого топлива пригодны, в основном, к большим энергетическим котлам тепловых электростанций. В котлах же малой мощности эта проблема должна решаться по иному пути в силу специфики условий их работы и небольших размеров оборудования. Во-вторых, после принятия закона РФ «Об охране атмосферного воздуха» усилился контроль за соблюдением экологических требований, в соответствие с которыми были ужесточены нормативы на выбросы оксидов азота в атмосферу. В-третьих, эксплуатационный персонал, включая руководство промышленных и отопительных котельных, недостаточно подготовлены для решения экономических и

экологических проблем, поставленных перед ними в последние годы. В технических журналах часто встречаются статьи по различным аспектам повышения КПД и защиты атмосферы от вредных выбросов промышленных и отопительных котельных. Однако разрозненный, а порой и противоречивый характер этих публикаций не позволяет в полной мере удовлетворить потребности работников жилищно-коммунальной сферы.

Читинская область, включая г. Чита, относится к регионам, в которых объекты энергетики в своем большинстве пользуются углем. Поэтому проблема снижения вредных выбросов и повышения эффективности котлов малой мощности при сжигании твердого топлива остается одной из важнейших на ближайшее будущее.

В связи с этим диссертационная работа имела целью: усовершенствовать конструкцию маломощного котла и технологию сжигания твердого топлива в слое, на основе исследования которых дать оценку термодинамической и экологической эффективности применения слоевых котлов небольшой мощности.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- 1) провести исследования процессов горения топлива и образования вредных выбросов в котлах с новой конструкцией;
- 2) получить данные об особенностях и параметрах топочных процессов в котлах усовершенствованной конструкции;
- 3) разработать методику проектирования маломощных котлов этой конструкции;
- 4) оценить экономический и экологический эффект от применения подобных котлов и технологии сжигания твердого топлива в них.

На защиту выносятся следующие результаты диссертационной работы, определяющие ее научную новизну:

- сравнительные результаты исследования процессов слоевого горения топлива в котлах новой конструкции и в существующих котлах;
- новая конструкция маломощного котла, предназначенная для сжигания низкосортного твердого топлива, а также результаты ее апробации на реальных объектах;
- оценка термодинамического и экологического эффектов от внедрения новой конструкции котла и технологии сжигания твердого топлива в слое;
- установленные показатели вредности топлив, используемых в Забайкальском регионе для котлов малой мощности.

Практическая значимость результатов работы состоит в том, что разработанная в ней новая конструкция котла с целью повышения эффективности сжигания твердого топлива получила подтверждение её работоспособности при использовании на реальных объектах и может

найти широкое применение при проектировании котлов малой производительности. Результаты диссертации были использованы при разработке серии водогрейных котлов тепловой мощностью 0,05, 0,15, 0,5, 0,7 и 1,16 МВт, выполненной в ЧитГУ при участии автора. За период с 2004 г. около 100 котлов этой серии введены в эксплуатацию в Чите и Читинской области.

Результаты исследований использованы и внедрены на котельных установках малой мощности, производимых ООО «Каскад», в том числе: 1) в котельной Завода торгового оборудования на котле КВр-0,5Б (р-н школы № 17); в котельной ЧитаТоргТехника по ул. Воинская площадь г. Читы; в котельной ООО «ЖБИ» в п. Рудник Кадала Читинской области и многих других.

Апробация работы:

Материалы, изложенные в диссертации, опубликованы в 14 печатных работах. Кроме того, они обсуждались: на региональной научно-практической конференции «Реформирование жилищно-коммунального хозяйства» (Чита, 2002); на межрегиональной научно-практической конференции «Энергетика в современном мире» (Чита, 2003); на всероссийской научно-практической конференции «Кулагинские чтения» (Чита, 2004, 2005); на всероссийской научно-практической конференции «Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири» (Иркутск, 2004); на всероссийской научно-технической конференции «Энергетика: управление, качество и эффективность использования энергоресурсов» (Благовещенск, 2005), на всероссийской научно-практической конференции «Энергетика в современном мире» (Чита, 2006).

Структура и объем работы:

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы, Приложений. Материал диссертации изложен на 135 страницах машинописного текста, содержит 30 рисунков и 11 таблиц. Список использованной литературы содержит 116 наименований.

Содержание работы

Во Введении обоснована актуальность проблемы повышения эффективности и снижения вредных выбросов котлами малой мощности, приведены сведения о структуре и объеме работы, сформулирована цель исследования.

В первой главе «Современное состояние проблемы эффективного сжигания твердого топлива в котлах малой мощности» проанализировано современное состояние проблемы повышения эффективности и загрязнения атмосферного воздуха при сжигании твердого топлива котельными установками малой

производительности, приведены данные о технико-экономическом состоянии источников тепловой энергии в г. Чите.

Проведенный анализ показал, что в настоящее время все маломощные источники тепловой энергии в данном регионе имеют низкий коэффициент полезного действия, в них не используются новые технологии сжигания твердого топлива. В силу этого делается вывод, что экологически и экономически использовать в дальнейшем данные источники нецелесообразно. Сформулирована цель исследований, приведен перечень основных задач, которые необходимо решить для ее достижения.

Во второй главе «Новая конструкция котла малой мощности для сжигания твердого топлива» описывается предлагаемая автором новая конструкция для сжигания твердого топлива в котлах малой мощности. Приводятся краткие сведения о теоретических основах процесса горения твердого топлива в слое при использовании новой конструкции котла.

Изложена также методика определения величины загрязняющих веществ в продуктах сгорания, описаны методы составления теплового и эксергетического балансов с определением энергетического и эксергетического КПД применительно к котлам новой конструкции для сжигания твердого топлива в слое.

Технология сжигания топлива и устройство маломощного котла новой конструкции. Для повышения эффективности сжигания топлива в слое автором предложена новая конструкция котла. Разработанная топка и конструкция котла малой мощности в целом имеет ряд характерных отличий от существующих котлов.

Процесс горения топлива осуществляется в специальной топке, которая является составной частью котельной установки малой производительности (рис. 1).

Топочное устройство (рис. 2) представляет собой плоскую решетку, выполненную из листовой жаропрочной стали, толщиной 10 мм, и ряда щелевых колосников в виде буквы Т, установленных в пазах решетки с зазорами для прохода воздуха 4 мм. Уголь в топку подается ручным методом без какой-либо предварительной подготовки в виде крупнокускового топлива (с размером кусков от 6 до 80 мм).

При работе нижняя часть топки имеет определенный слой шлака, требуемый объем которого поддерживается практически постоянным с помощью машиниста котла (вручную).

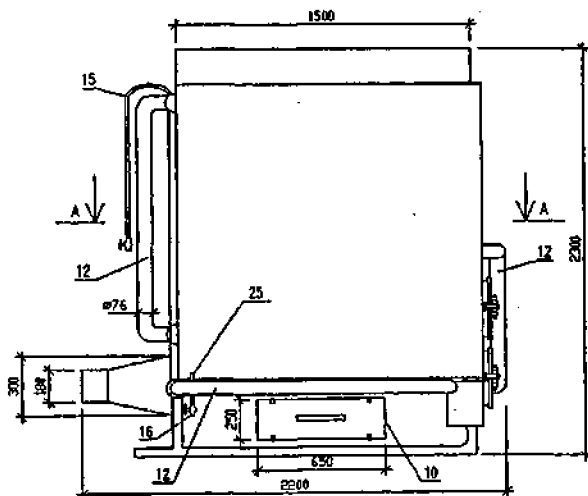
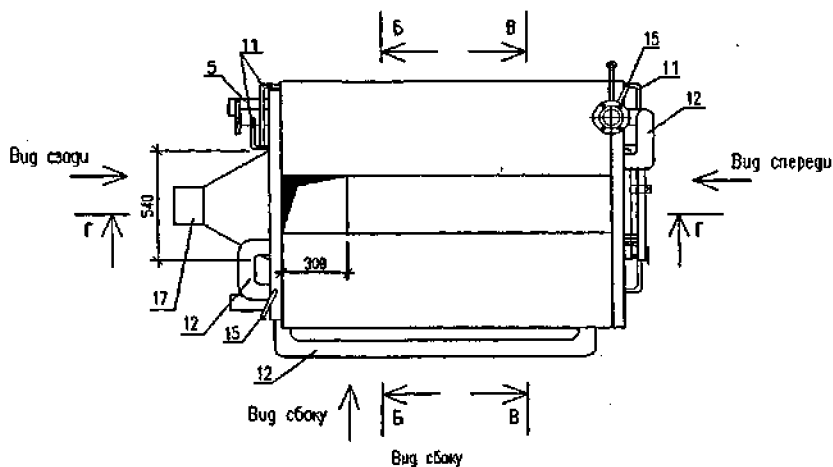
С помощью щелевого колосника слой шлака и свежезаброшенного топлива продувается воздушным дутьем, благодаря чему он поддерживается в состоянии газошлаковой эмульсии.

Благодаря такой конструкции топочного устройства улучшается процесс перемешивания топлива с окислителем и практически

полностью исключаются потери тепла от провала топлива через зазоры щелевого колосника q_i^m .

Дутье проходит через шлаковую зону, где оно несколько подогревается, и далее поступает в зону горения топлива при недостатке кислорода (рис. 3). Уменьшение избытка воздуха позволяет снизить скорости движения газов по слою, повысить температуры в слое и в топочном пространстве, тем самым, содействуя лучшему сжиганию и снижению потерь тепла с уносом q_i^m .

Вид сверху



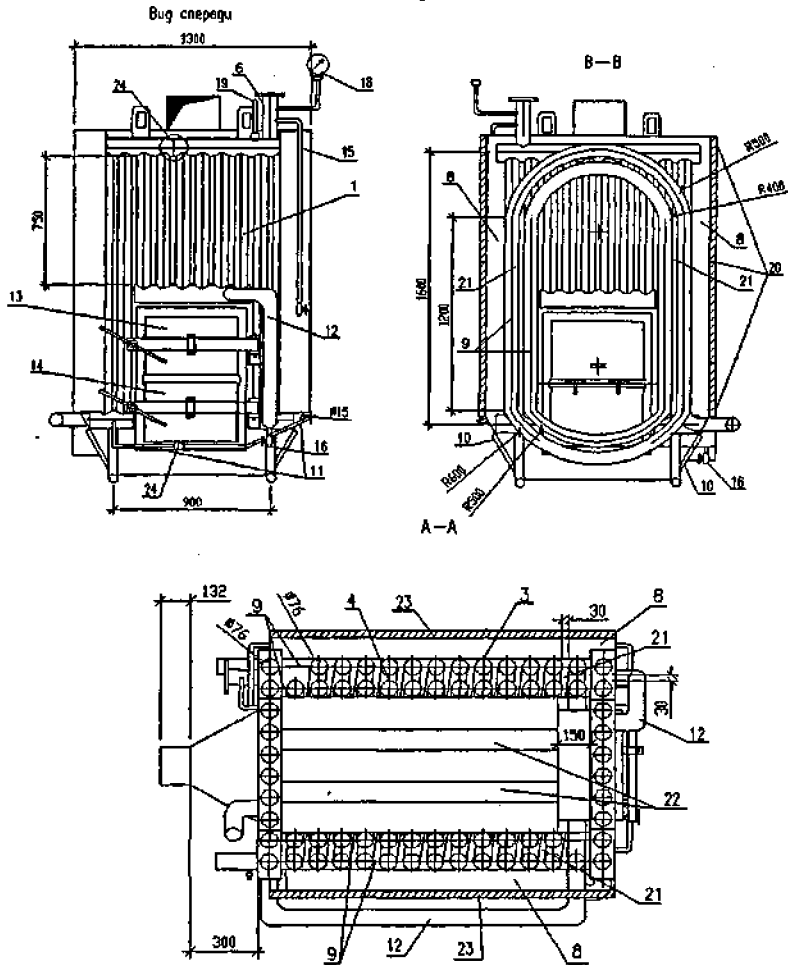


Рис. 1. Котельный агрегат KVr-0,5Б: 1 – передняя панель; 2 – задняя панель; 3 и 4 – наружная и внутренняя панель; 5 – вход воды; 6 – выход воды; 7 – сборный короб газов; 8 – внешний газоход котла; 9 – межтрубная проставка; 10 – лючок для прочистки газоходов; 11 – трубопровод для охлаждения топочных дверей; 12 – перепускные трубопроводы; 13 – загрузочная дверь; 14 – дверь для удаления золы; 15 – воздушник; 16 – спускник; 17 – воздушный короб; 18 – манометр; 19 – термометр; 20 – ребро жесткости; 21 – внутренний газоход котла; 22 – колосник щелевой; 23 – изоляция; 24 – перегородка; 25 – штуцер для подачи сжатого воздуха

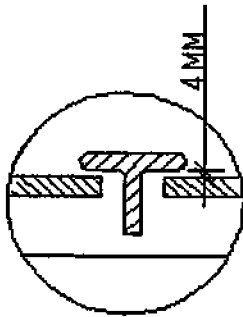


Рис. 2. Щелевой колосник котла КВр-0,5Б

Накопленная сверху и охлаждаемая снизу холодным воздухом шлаковая подушка является хорошей защитой топочного устройства от действия высокой температуры вышележащей зоны горения углерода.

Таким образом, предложенная конструкция щелевого колосника позволяет значительно снизить потери теплоты от механической неполноты сгорания q_4 .

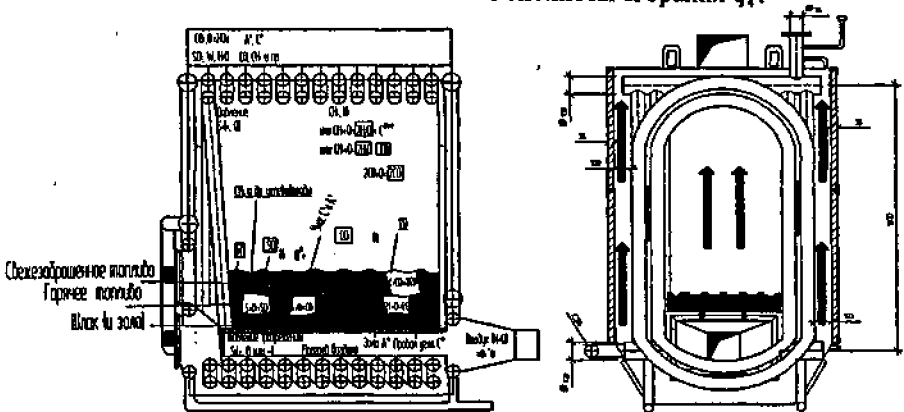


Рис. 3. Схема организации сжигания твердого топлива в котле новой конструкции

Еще одной особенностью предложенной конструкции котла КВр-0,5Б является то, что он собран из четырех обогреваемых панелей — фронтальной, задней, наружной и внутренней панели (рис. 1). Наружная и внутренняя панели выполнены в виде спиралей, вставленных одна в другую, что позволило уменьшить габариты котла и снизить его металлоемкость. Внутренняя панель образует камеру сгорания, где происходит сгорание продуктов газификации и мелких фракций топлива, которая соединяется с топочным устройством. Панели котла сварены между собой и образуют газоплотную конструкцию с внутренними и наружными газоходами — камеру охлаждения. Газоплотность конструкции позволила получить на выходе из котла значения коэффициента избытка воздуха на достаточно низком уровне, что снизило потери теплоты с

уходящими газами q_2 . Панели котла изготовлены из цельнотянутых труб сталь Ст. 20 диаметром 76*4 мм с вваркой между ними плавника 3*30 ст3пс.

Движение дымовых газов в котле следующее (рис. 3). Дымовые газы из внутренней панели через окно, образованное плавниками попадают во внутренний газоход, где разделяются на два потока и проходят между внутренней и наружной панелями. Затем, пройдя окна наружной панели, попадают в наружный газоход наружной панели, омывают ее трубы с наружной стороны и попадают в сборный короб, откуда отводятся в дымовую трубу. Таким образом, уходящие газы, пройдя через все панели, значительно снижают свою температуру, уменьшая тем самым потери тепла с уходящими газами q_2 и увеличивая КПД котельной установки.

Движение воды в панелях – подъемно-опускное, число труб в ходе: наружная и внутренняя панели – 1, фронтальная и задняя – 2. Скорость движения воды в трубах составляет при номинальном расходе воды через котел около 1,5 м/с. Панели котла соединены между собой по ходу воды последовательно: вход воды в заднюю панель, затем наружная панель, внутренняя и выход воды из фронтальной панели.

Теоретические основы процесса горения твердого топлива в слое при использовании новой конструкции котла. Схемы процесса горения слоя были намечены еще первыми исследователями горения и получили дальнейшее уточнение и развитие в работах Крейзингера, Неймана, Одибера, Г.Ф. Кнорре, Б.В. Канторовича, З.Х. Колодцева, В.В. Померанцева и др.

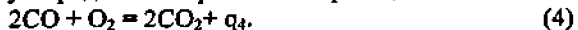
Частица твердого натурального топлива попадает на поверхность горящего слоя. Она начинает интенсивно прогреваться, претерпевая ряд сложных физико-химических изменений.

При высокотемпературном горении углерода имеет место протекание следующих итоговых реакций на внешней поверхности куска и на поверхности пор.

При «сухой» газификации (отсутствие паров H_2O):



В условиях встречной диффузии продуктов неполного горения от поверхности углеродного массива в поток окислителя, диффундирующего навстречу из объема, между продуктами горения и окислителем неизбежно взаимодействие вблизи углеродной поверхности по реакции:



Тепловые эффекты основных реакций: $q_1=94250$ кал/моль, $q_2=52300$ кал/моль, $q_3=-41950$ кал/моль, $q_4=136200$ кал/моль.

Изменение констант скоростей реакции от температуры подчиняется закону Аррениуса. Поэтому для каждой реакции будет справедливо:

$$dG_i = C_i k_{0i} e^{-E_i/RT} d\tau, \quad (5)$$

где G_i — количество реагирующего вещества, в моль/(м²·сек) для поверхностных реакций и в моль/(м³·сек) для гомогенных реакций; $C_i = p_i/(RT)$ — действующая концентрация, моль/м³; E_i — энергия активации, кал/моль; k_{0i} — предэкспоненциальный множитель зависимости Аррениуса в м/сек для гетерогенной и в с⁻¹ для гомогенной реакции; τ — время, с; индекс i соответствует номеру реакции; R — газовая постоянная; T — абсолютная температура, К.

Прогрев частицы сопровождается интенсивным выделением влаги — подсушкой. По мере нарастания температуры в частице происходят более сложные химические процессы: начинается распад нестойких органических соединений с выделением летучих. Для топлив, имеющих большой выход летучих, эта стадия приводит и к физическим изменениям структуры углеродного массива. Частица становится более пористой, изменяется ее внутренняя поверхность и размер пор. Поток летучих веществ вступает в активное взаимодействие с поступающим навстречу потоком кислорода, препятствуя взаимодействию кислорода с коксовым остатком. Прогрев частицы до температуры 800...850 °С приводит к практически полному окончанию выделения летучих и завершению ее коксования.

Учитывая высокую интенсивность этих процессов в условиях слоевого горения, можно считать, что они протекают и заканчиваются в очень узкой зоне на поверхности слоя, не превышающей по высоте размера средней частицы. Воспламенение и горение летучих и интенсивный тепло- и массообмен частицы с потоком приводят к быстрому нарастанию температуры поверхности коксового остатка, углерод которого по мере прекращения выхода летучих начинает все более активно вступать во взаимодействие с кислородом. Начинается стадия выгорания коксового остатка. Зона выгорания углерода кокса занимает по существу весь остальной участок высоты слоя.

Вполне понятно, что четкую границу между отдельными зонами в слое установить трудно, так как происходит их наложение, и границы в силу особенностей структуры слоя носят размытый характер.

Зона выгорания углерода кокса распадается по высоте на два участка, выгорание в каждом из которых протекает химически различно. Нижний участок слоя, характеризующийся наличием значительного количества свободного кислорода в продуктах сгорания, обычно называют кислородной зоной. К концу кислородной зоны концентрация кислорода приближается к нулю и он уже не оказывает непосредственного влияния на выгорание углерода. Участок зоны выгорания углерода, расположенный за этой границей, называют восстановительной зоной (рис. 4).

Обладая высокой химической активностью, кислород играет основную роль в выгорании в пределах кислородной зоны. Восстановительные реакции, протекающие на поверхности углеродного массива, приводят к образованию окиси углерода, которая интенсивно взаимодействует с встречным потоком кислорода.

При высоких температурах, характерных для большей части зоны выгорания кокса в слоевом процессе, возможно бурное протекание вторичных реакций с образованием большого количества CO. В этом случае расход кислорода на дожигание CO у поверхности кусков горящего углеродного массива настолько велик, что свободный кислород практически расходуется полностью, не достигая углеродной поверхности.

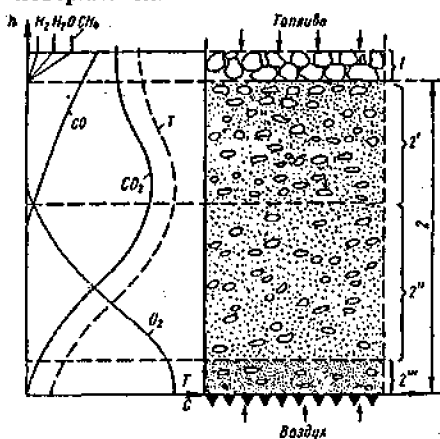


Рис. 4. Основные зоны горения в неподвижном слое

Если высота слоя достаточно велика, то к некоторому уровню h_k весь свободный кислород дутья израсходуется и в области, расположенной за этой границей (восстановительной зоне), выгорание углерода может идти только по восстановительной реакции (3). Эта реакция идет с эндотермическим тепловым эффектом и протекание её в восстановительной зоне сопровождается снижением температурного уровня. В связи с этим максимальный температурный уровень так же, как и максимальное содержание углекислоты в продуктах сгорания, соответствует концу кислородной зоны.

Протекание восстановительных реакций приводит к нарастанию концентраций угарного газа, к которым добавляются летучие газообразные продукты. Дожигание этих продуктов неполного горения обычно происходит над поверхностью слоя. При сжигании топлива в слоевых топках высота слоя топлива обычно невелика и, как правило, почти не превышает высоты кислородной зоны.

Организация слоевого процесса для газификации топлива, наоборот, требует значительной высоты слоя топлива, при этом имеет место развитая восстановительная зона.

В конце кислородной зоны вследствие того, что процесс приближается к адиабатному, температура близка к теоретической

температуре горения. Под влиянием высокой температуры зола большинства топлив расплавляется. Углеродная поверхность не смачивается жидким шлаком, поэтому капли шлака образуют на ней небольшие шарики. Образовав более крупные капли, шлак стекает вниз навстречу потоку продуктов сгорания и воздуха и попадает в область все более низких температур. Интенсивный теплообмен с встречным сравнительно холодным потоком приводит к застыванию и грануляции шлака в нижних участках слоя. Постепенно шлак накапливается на поверхности колосникового полотна, образуя так называемую шлаковую подушку. В этой, самой нижней зоне происходит выгорание остатков углерода, поэтому ее часто называют зоной выжигания шлака. Слой шлака защищает колосниковое полотно от действия теплового излучения со стороны горящих углеродных частиц, что одновременно с охлаждающим действием дутьевого воздуха обеспечивает надежную работу колосникового полотна.

Основываясь на представлениях о физико-химических условиях протекания горения топлива в слое, можно сформулировать основные положения, которые использовались при теоретическом описании процессов выгорания и газификации в слое:

1. Основным процессом при сжигании топлива в слое является выгорание и газификация углерода кокса. Зона выгорания углерода кокса занимает подавляющую часть слоя. Летучие не оказывают практически никакого влияния на процесс выгорания углерода, так как их горение протекает вне слоя топлива.

2. В зоне горения и газификации температурный уровень очень высок и превышает температуру плавления золы большинства видов твердого топлива. Зола расплавляется и сдувается воздухом с поверхности кусков в виде мелких капель, практически не препятствуя горению. Таким образом, для топлива с умеренной зольностью можно говорить о горении в слое частиц чистого углерода в условиях высоких температур.

3. Горение частиц углерода кокса, размером более 10^{-3} м, происходит по схеме двойного горящего слоя. Частица вначале газифицируется по реакции $C + CO_2 = 2CO$, а вблизи поверхности протекает гомогенная реакция $2CO + O_2 = 2CO_2$.

4. В условиях высоких температур слоевого процесса горение протекает в диффузионной области.

5. При достаточно большой толщине горящего слоя он распадается на окислительную и восстановительную зоны, макрохимизм горения в которых различен.

6. Топливо, поступающее на слой, носит полифракционный характер, т. е. состоит из частиц различного начального размера, который меняется в пределах от нуля до начального размера наиболее крупной частицы δ_{01} .

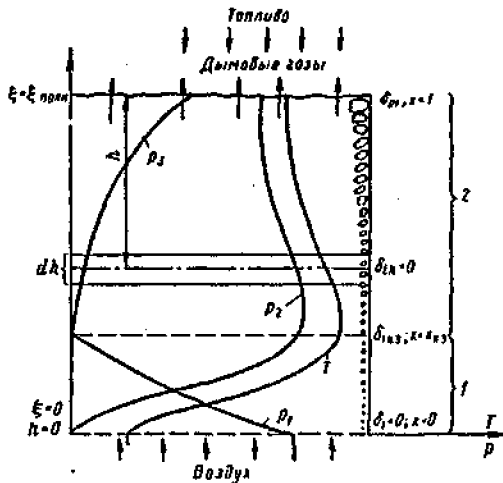


Рис. 5. К выводу уравнений выгорания и газификации топлива в слое

Исходя из вышеизложенного, можно сформулировать принятую математическую модель, описывающую процессы выгорания и газификации в слое.

Дифференциальное уравнение выгорания частицы в полифракционном противоточном слое в случае переменной по высоте слоя порозности представляется в виде:

$$0,217(1-m)d\xi = -\frac{x}{2\alpha_{ex} - n\delta_{01}I} dx, \quad (6)$$

в случае постоянной по высоте слоя порозности:

$$0,217(1-m)d\xi = -\frac{I}{2\alpha_{ex} - n\delta_{01}I} dx, \quad (7)$$

где m — порозность слоя топлива; $\xi = h/\delta_{01}$ (h — высота слоя топлива); α_{ex} — коэффициент избытка воздуха в слое; $n = 1/(\delta_{01} - \delta_{0min})$; I — некоторый интеграл, учитывающий изменение размеров частиц топлива.

Из рассмотрения этих уравнений видно, что в условиях слоевого высокотемпературного горения в диффузионной области при принятом в работе законе определения коэффициента диффузионного массообмена, получаются выражения, показывающие независимость последнего от температурных условий.

Полученные дифференциальные уравнения показывают, что при принятых положениях о характере горения в слое выгорание частиц определяется порозностью слоя, фракционным составом исходного топлива, положением частицы по высоте слоя и коэффициентом избытка организованного воздуха, подаваемого в топку.

Составление теплового и эксергетического балансов котельной установки. Российскими учеными создан целый ряд упрощенных методик теплотехнических расчетов с целью определения отдельных составляющих теплового баланса и КПД котельных установок. К ним относятся теплотехнические расчеты по обобщенным константам продуктов горения, разработанные профессором М.Б. Равичем, и теплотехнические расчеты по приведенным характеристикам топлива, наиболее полно разработанные профессором С.Я. Корницким и развитые Я.Л. Пеккером.

Для точного сведения теплового баланса и определения потерь тепла при сжигании твердого топлива в работе была использована методика, разработанная Р.И. Эстеркиным, согласно которой при испытании необходимо взвешивать топливо и очаговые остатки, производить лабораторный анализ отобранных проб с определением не только теплоты сгорания, но также влажности и зольности топлива.

С целью оценки термодинамической эффективности котлов малой мощности кроме составления тепловых балансов и получения энергетических КПД был осуществлен их эксергетический анализ. Эксергетический баланс котлов был составлен на основе методики, предложенной Сидельковским Л.Н. и Фальковым Э.Я. и получившей дальнейшее развитие в работах Степанова В.С. и Степановой Т.Б. на основе установленных ими значений химической энергии и эксергии топлив.

В третьей главе «Постановка экспериментальных исследований» выполнены экспериментальные исследования процессов образования вредных веществ при использовании новой конструкции котла и технологии сжигания твердого топлива на примере котла КВр-0,5Б котельной с. Засопка МУП «Читинский район» Читинской области, а также существующих котлов КВр-0,8, КВ-0,5 и «Братск-1М». Главной целью исследований ставилось определение количественных характеристик выбросов вредных веществ и значений КПД для котлов новой конструкции и существующих котлов. Описана методика проведения экспериментальных исследований, перечислены измеряемые параметры, а также используемые приборы и оборудование.

В четвертой главе «Сравнительный анализ количественных характеристик выбросов вредных веществ и значений КПД» сделан сравнительный анализ количественных характеристик выбросов вредных веществ и значений КПД котлов новой конструкции и существующих котлов, сжигающих топливо в слое. Представлены результаты сравнения данных тепловых и эксергетических балансов, рассчитанных для рассмотренных котлов.

Результаты замеров, характеризующие особенности характеристик горения в котлах со слоевым сжиганием представлены на рис. 6.

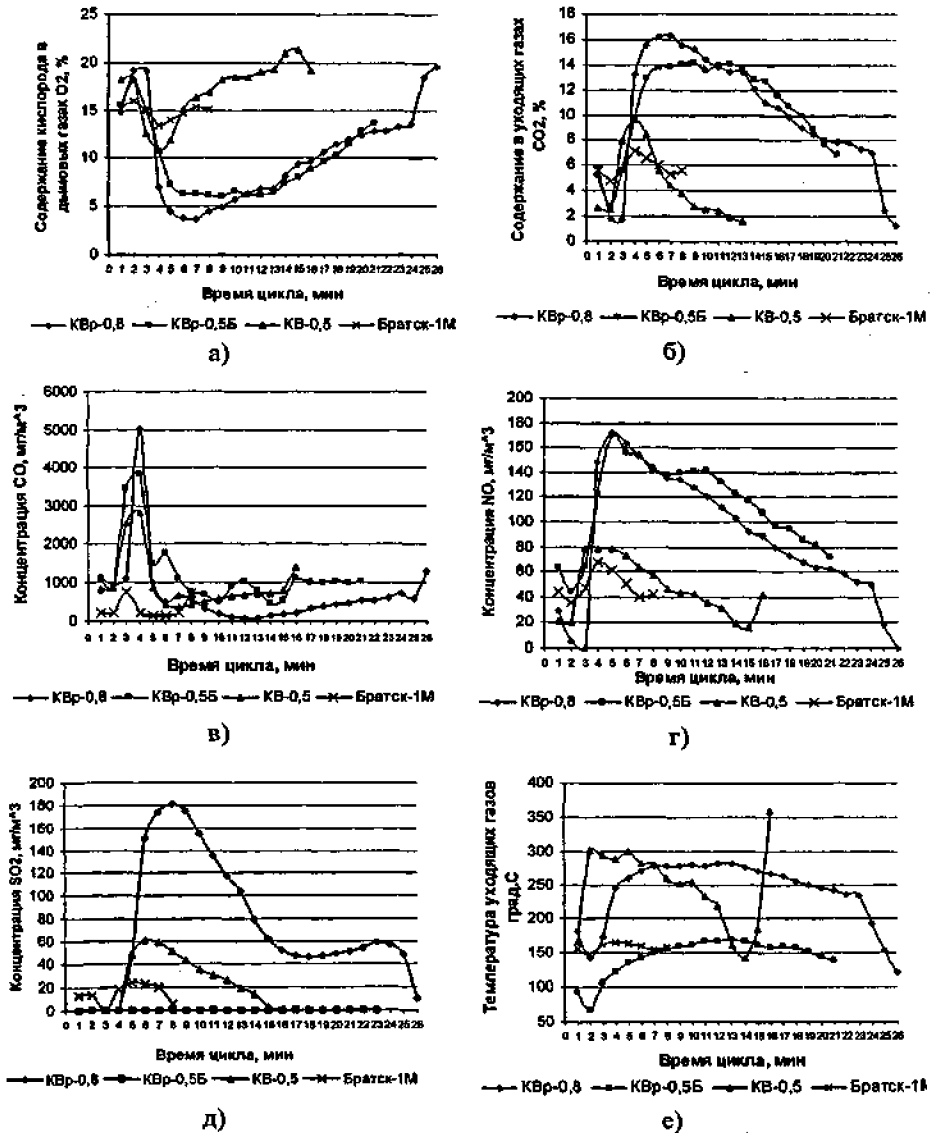


Рис. 6. Изменение характеристик дымовых газов котлов со слоевым сжиганием в течение цикла горения

Особенностью процессов сжигания твердого топлива в слое по предлагаемой технологии является существенное изменение во времени параметров, характеризующих тепловые и газодинамические процессы в котле усовершенствованной конструкции.

Концентрация оксидов азота в уходящих газах котла предлагаемой конструкции по сравнению с другими котлами сравнительно невысока и составляет от 44 до 170 мг/м³ (рис. 4, г). Концентрация оксидов углерода имеет высокие значения в более узком диапазоне α_{yx} (рис. 4, в). Оксиды серы в дымовых газах по сравнению с другими котлами не зафиксированы (рис. 4, д).

Температура же уходящих газов котла КВр-0,5Б за счет развитых поверхностей нагрева имеет существенно более низкие значения по сравнению с другими котлами, что объясняет более низкие потери теплоты с уходящими газами в нем.

Результаты расчетов КПД котлов, выполненные на основе экспериментальных данных, представлены на рис. 7.

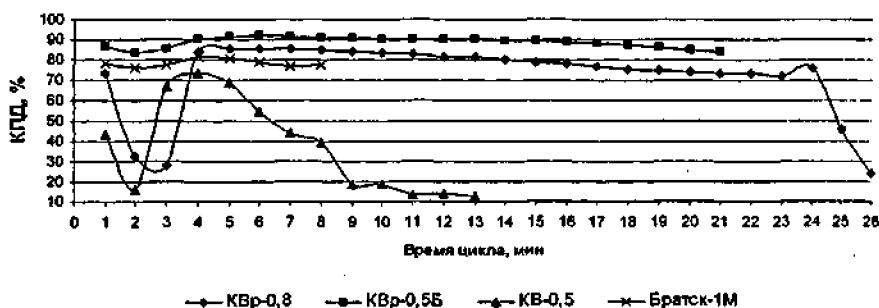


Рис. 7. Изменение КПД котлов со слоевым сжиганием в течение цикла горения

Использование котлов новой конструкции типа КВр-0,5Б, сжигающих твердое топливо, позволило повысить КПД котла за счет снижения потерь с уходящими газами.

В таблицах 1 и 2 представлены энергетический и эксергетический балансы котлов КВр-0,5Б и КВ-0,5. Поступление энергии (эксергии) в котел определено на основе удельных значений химической энергии и эксергии и расхода сжигаемого в котлах бурого угля Татауровского месторождения.

Анализ показывает, что в промышленно-отопительных котельных имеют место большие потери эксергии. В частности, в эксергетическом балансе имеются две весьма значительные статьи потерь, которые отсутствуют в тепловом.

Таблица 1. Энергетический баланс котлов КВр-0,5Б и КВ-0,5 (приход – по химической энергии топлива)

Статья баланса	Котел КВр-0,5Б		Котел КВ-0,5	
	МДж/ч	%	МДж/ч	%
Приход				
Химическая энергия топлива	2279,6	100	6059	100
Расход				
Тепло воды	1764	77,4	1908	31,5
Потери тепла с уходящими газами	217	9,52	1430,5	23,61
Потери тепла с химическим недожогом	41,5	1,82	1697,1	28,01
Потери тепла с механическим недожогом	172,8	7,58	796,1	13,14
Потери тепла в окружающую среду	80,9	3,55	218,1	3,6
Потери тепла со шлаком	3,4	0,15	9,08	0,15
Всего	2279,6	100	6059	100

Таблица 2. Эксергетический баланс котлов КВр-0,5Б и КВ-0,5 (приход эксергии – по химической эксергии топлива)

Статья баланса	Котел КВр-0,5Б		Котел КВ-0,5	
	МДж/ч	%	МДж/ч	%
Приход				
Эксергия топлива	2237,8	100	5947,9	100
Расход				
Эксергия воды	243	10,86	252,8	4,25
Эксергия уходящих газов	167	7,46	610,85	10,27
Потери тепла с химическим недожогом	21,93	0,98	760,74	12,79
Потери тепла с механическим недожогом	96,9	4,33	529,96	8,91
Потери тепла в окружающую среду	61,3	2,74	166,5	2,8
Потери тепла со шлаком	2,24	0,1	6,54	0,11
Потери от необратимости горения	801,1	35,8	1732	29,12
Потери при теплообмене	844,3	37,73	1888,5	31,75
Всего	2237,8	100	5947,9	100

Это потери от необратимости процесса горения топлива в топке, связанные с переходом химической энергии топлива в тепловую при заданном температурном потенциале, от которых зависит величина этих

потерь. И потери от необратимости теплообмена между продуктами сгорания топлива и теплоносителем, обусловленные физической разностью температур между греющей и нагреваемой средами.

Таким образом, по результатам экспериментальных исследований котлов со слоевым сжиганием твердого топлива можно сделать следующие выводы. Новая конструкция котла позволяет: получить энергетический (тепловой) КПД не ниже 75%; повысить тепловую мощность на 25...50%; свести выбросы оксидов серы к минимуму; снизить металлоемкость и габариты котла; улучшить условия эксплуатации котельных установок; сжигать различные виды твердого топлива без предварительной подготовки.

В пятой главе «Экономический эффект от внедрения новой конструкции котла для сжигания твердого топлива» на примере города Читы производится экономическое сравнение новой конструкции котла ООО «Каскад» для сжигания твердого топлива и обычных котлов со слоевым сжиганием ДУ «Тепловик» ОАО «ТГК-14».

Показано, что экономический эффект от внедрения новой технологии сжигания твердого топлива в котлах усовершенствованной конструкции за один отопительный сезон составит 254819,4 рублей. Себестоимость производства тепловой энергии в регионе может снизиться на 113 рублей за 1 Гкал, что позволяет предположить аналогичное снижение тарифов на тепловую энергию для населения Читы и Читинской области.

Помимо разработки и внедрения новой конструкции котла для сжигания твердого топлива в работе рассмотрена возможность снижения негативного воздействия котельных установок на окружающую среду. Это стало возможным путем применения экологически более чистого топлива, установленного на основе рассчитанных и предложенных показателей вредности.

Заключение

1. На основании анализа обзора публикаций и иной информации по рассмотренной тематике установлено, что в Читинском регионе эксплуатируется большое число котельных, работающих на твердом топливе. Работа большинства котельных характеризуется высокими потерями тепла и топлива. КПД угольных котельных не превышает 60 %, а некоторых уровня 30...40 %. Кроме того, использование таких котельных не позволяет обеспечить чистоту выбрасываемых в атмосферу уходящих газов. В связи с этим на первый план выступает задача повышения эффективности сжигания твердого топлива в котлах малой мощности.

2. В работе усовершенствована конструкция котла, предложена технология сжигания твердого топлива в нем.

3. Исследована и освоена в промышленных условиях разработанная конструкция котла для сжигания твердого топлива, которая за счет

развитости поверхностей нагрева, газоплотности конструкции и применения Т-образной колосниковой решетки позволяет достичь энергетического КПД котла не ниже 75%.

4. Разработана методика проектирования котлов новой конструкции для сжигания твердого топлива в слое. Методика включает расчет геометрических размеров топочной камеры и котла в целом, а также количество спиральных витков внутренней и наружной панелей. Сформулированы правила (регламент) эксплуатации котлов новой конструкции.

5. Проведены экспериментальные исследования термодинамической эффективности котлов, а также процессов образования вредных веществ. Сделан сравнительный анализ выбросов в окружающую среду котлами новой конструкции и существующими котлами.

6. На основе экспериментальных данных составлены энергетический и эксергетический балансы котла новой конструкции и существующего котла той же производительности, подтверждена эффективность использования разработанных автором котлов для сжигания твердого топлива в слое.

7. Оценен экономический эффект применения котла новой конструкции в муниципальных котельных города Читы и Читинской области, который из расчета на один котел составил 254819,4 рублей за один отопительный сезон.

8. Предложены показатели вредности для оценки экологического воздействия топлива на окружающую среду при сжигании в котлах малой мощности.

9. Результаты выполненных исследований послужили основой для разработки конструкций водогрейных котлов мощностью от 0,05 до 1,16 МВт (0,043...1 Гкал/ч), предназначенных для эффективного сжигания низкосортного топлива. К настоящему времени изготовлено около 100 таких котлов, которые смонтированы и эксплуатируются в различных населенных пунктах Читинской области.

10. Внедрение котлов новой конструкции в коммунальную теплоэнергетику Читинской области обеспечивает сокращение потребления топлива, снижение себестоимости производимой тепловой энергии, улучшение качества теплоснабжения.

Основные результаты, изложенные в диссертации, опубликованы в работах:

1. Стрельников А.С., Мирошников С.Ф. Проблема использования паровых и водогрейных котлов малой производительности/ Региональная научно-практическая конференция «Реформирование жилищно-коммунального хозяйства». – Чита: ЧитГТУ, 2002. – С.132–134.
2. Стрельников А.С. Проблема использования углей Забайкальских месторождений на отопительных котельных малой мощности/ VII

- международная молодежная научная конференция «Молодежь Забайкалья: интеллект и здоровье». – Чита: ИИЦ ЧГМА, 2003. – Ч.1. – С.167–168.
3. Стрельников А.С. Выбор оптимального значения толщины слоя топлива на колосниковых решетках с ручным обслуживанием как один из путей повышения эффективности использования котлов малой мощности/ Вторая межрегиональная научно-практическая конференция «Энергетика в современном мире». – Чита: ЧитГУ, 2003. – С.23–25.
 4. Стрельников А.С. Пути повышения эффективности использования паровых и водогрейных котлов малой мощности//Материалы Всероссийской молодежной научно-технической конференции «Молодые ученые Сибири». – Улан-Удэ: ВСГТУ, 2003. – С. 201-202.
 5. Стрельников А.С. Снижение выбросов оксидов азота при сжигании бурых углей Забайкальских месторождений в маломощных водогрейных котлах// Материалы ежегодной Всероссийской научно-практической конференции «Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири». – Иркутск: ИрГТУ, 2004.– С.232–236.
 6. Иванов С.А., Мирошников С.Ф., Стрельников А.С. Новые технологии сжигания углей котлами малой мощности как средство снижения вредных выбросов// Вестник МАНЭБ. – № 9 (6). – Санкт-Петербург – Чита: 2004. – С. 204-207.
 7. Стрельников А.С., Мирошников С.Ф. Внедрение приведенных характеристик вредных выбросов как средство сравнения по экологическим показателям котлов малой производительности/ IV межрегиональная научно-практическая конференция «Кулагинские чтения». – Чита: ЧитГУ, 2004. ч. 1. – С. 200-203.
 8. Стрельников А.С., Мирошников С.Ф. Зависимость вредных выбросов от нагрузки котельных установок малой производительности/ Сборник трудов четвертой Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Энергетика: управление, качество и эффективность использования энергоресурсов». – Благовещенск: издательство Амурского государственного университета, 2005. – С.541–543.
 9. Стрельников А.С., Мирошников С.Ф., Петин В.В. Влияние способов сжигания твердого топлива в котлах малой мощности на их экологические характеристики//Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири». – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2005. – С. 305-310.
 10. Стрельников А.С., Мирошников С.Ф. Зависимость выбросов оксидов азота от нагрузки от нагрузки котельных установок малой производительности/ V Всероссийская научно-практическая

конференция «Кулагинские чтения». – Чита: ЧитГУ, 2005. ч. 1. – С. 166-169.

11. Стрельников А.С., Иванов С.А., Мирошников С.Ф. Внедрение новых технологий сжигания твердых топлив в котлах малой производительности/ XII Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Современные техника и технологии» – Томск: Изд-во Томского политехн. ун-та, 2006.– Т.2. – С. 407-408.
12. Иванов С.А., Мирошников С.Ф., Стрельников А.С. Применение топок-газификаторов с целью снижения вредных выбросов котлами малой мощности// Вестник МАНЭБ. – № 11 (5). – Санкт-Петербург – Чита: 2006. – С. 134-135.
13. Стрельников А.С., Иванов С.А., Мирошников С.Ф. Пути повышения эффективности использования промышленно-отопительных котельных, работающих на углях Забайкальских месторождений // Промышленная энергетика. – 2006. – № 6. – С. 6-7.
14. Стрельников А.С., Мирошников С.Ф. Экспериментальные исследования по снижению вредных выбросов котлами малой мощности/ Всероссийская научно-практическая конференция «Энергетика в современном мире». – Чита: ЧитГУ, 2006. – С. 56-61.

Лицензия ЛП № 020525 от 02.06.97

Сдано в производство 13.11.06 г.

Уч.- изд. л.

Тираж 100 экз.

Усл. печ. л.

Заказ № 158

Читинский государственный университет
672039, Чита, ул. Александро-Заводская, 30

Издательство ЧитГУ

