

На правах рукописи

**КОНДРЫКИНСКАЯ АННА ВИКТОРОВНА**



**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ И  
ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОНДЕНСАЦИОННЫХ КОТЛОВ**

05.23.03 – теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха,  
газоснабжение и освещение

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Макеевка – 2015

Работа выполнена в Донбасской национальной академии строительства и архитектуры

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор  
**Высоцкий Сергей Павлович**

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор  
**Ефимов Николай Николаевич**,  
Южно-российский государственный  
политехнический университет (НПИ)  
имени М.И. Платова (г. Новочеркасск),  
заведующий кафедрой тепловых  
электрических станций и теплотехники;

кандидат технических наук, доцент  
**Гридин Сергей Васильевич**,  
Донецкий национальный технический  
университет, доцент кафедры  
промышленной теплоэнергетики.

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
**«Ростовский государственный  
строительный университет»**

Защита состоится «17» декабря 2015 года в 10:00 на заседании диссертационного совета Д 01.005.01 Донбасской национальной академии строительства и архитектуры по адресу: 86123, г. Макеевка, ул. Державина, 2, 1-й учебный корпус, зал заседаний. Тел. факс: +38(0623) 22-77-19, e-mail: d01.005.01@donnasa.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Донбасской национальной академии строительства и архитектуры: <http://donnasa.ru>

Автореферат разослан «\_\_» октября 2015 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
Д 01.005.01



Злата Викторовна Удовиченко

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

**Актуальность темы.** Использование топливно-энергетических ресурсов в Украине осуществляется с малой эффективностью. Это приводит к большим объемам импортных поставок топлива, что вызывает зависимость работы базовых отраслей промышленности и коммунального хозяйства от стран-импортеров и влечет угрозу энергетической безопасности страны. Вместе с этим Украина имеет большой потенциал энергосбережения, который составляет около 50% от годового объема потребления топливных ресурсов.

В современных условиях большая часть теплоты производится в централизованных котельных. В результате разветвленной системы трубопроводов значительное количество теплоты, а, следовательно, и топлива тратится на подогрев атмосферы. Кроме этого тратится значительная масса воды, которая создает целый ряд экологических проблем.

Для повышения эффективности систем теплоснабжения возникает необходимость решения целого комплекса вопросов: обеспечение более эффективного использования природного газа с внедрением конденсационных котлов или использования возобновляемых энергоносителей и электрической энергии, разработка технических решений для повышения надежности тепловых сетей за счет исключения из воды коррозионно-активных веществ: кислорода и углекислого газа.

Внедрение конденсационных котлов на малых котельных обеспечивает маневренность работы оборудования и коэффициент использования топлива на котлах 95-100%.

Принимая во внимание необходимость разработки и внедрения технологических решений, которые обеспечивают устойчивое развитие страны, важным вопросом является также обоснование возможности использования возобновляемых источников и электрической энергии. Ввиду того, что стоимость электрической энергии в межпиковый промежуток времени значительно меньше, чем в «пиковый», появляется необходимость разработки мероприятий для потребления электрической энергии в ночные часы и аккумулирования теплоты на длительное время.

**Связь работы с научными программами, планами, темами.** Работа выполнена в соответствии с Комплексной программой «Энергетическая стратегия Украины до 2030 года», утвержденной Кабинетом Министров Украины от 01.03.2006 г. №145-р., (раздел «Приоритетные направления и объемы энергосбережения, потенциал развития нетрадиционных и возобновляемых источников энергии до 2030 года»), а также по планам кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, госбюджетных научно-исследовательских работ кафедры: «Разработка теоретических моделей технических и технологических решений, которые обеспечивают эффективное функционирование инженерных сетей тепло-, водоснабжения и водоотведения» (Д-2-05-11), «Разработка теоретических и технологических принципов, которые обеспечивают внедрение новейших технологий системы функционирования ЖКХ» (Д-2-05-09).

### **Цель и задачи исследования.**

Целью диссертационной работы является теоретическое и экспериментальное обоснование использования методов повышения экономичности, надежности и экологичности конденсационных водогрейных котлов, оборудованных массо- и теплообменной насадкой.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи исследования:

- выполнить анализ существующих систем теплоснабжения;
- обосновать влияние на коэффициент использования тепла объемов помещений;
- усовершенствовать математическую модель работы конденсационных котлов, оборудованных тепло- и массообменной насадкой из колец Рашига;
- определить влияние температуры теплоносителя на степень его насыщения углекислым газом как в результате прямого контакта теплоносителя с продуктами сгорания природного газа, так и в результате термической деструкции гидрокарбонатов;
- определить эмиссию  $\text{NO}_x$  на традиционных водогрейных котлах и конденсационном котле, оборудованном массо- и теплообменной насадкой;
- разработать и проверить экспериментально технические решения по снижению выбросов оксидов азота;
- определить эффективность и целесообразность использования альтернативных источников теплоснабжения.

**Объект исследования** – энергосбережение и экологическое совершенствование систем теплоснабжения.

**Предмет исследования** – массообменные процессы и процессы генерации тепла в конденсационных котлах с непосредственным контактом дымовых газов с водой.

**Методы исследования.** Теоретический и практический анализ процессов производства, потребления и аккумулирования энергии для отопления. Проведение опытов по равновесному насыщению воды карбоновым газом и аккумулированию энергии с использованием кристаллогидратов с фазовым переходом в лабораторных условиях и на полупромышленном оборудовании на конденсационных котлах с использованием расходомеров природного газа и воды, термометров сопротивления, термопар, концентратометров и станций сбора данных.

### **Научная новизна полученных результатов:**

- впервые получены экологические и технологические показатели работы котлов с непосредственным контактом теплоносителя с водой, оборудованных массо- и теплообменной насадкой, что позволяет уменьшить потребление природного газа на 15-20%;
- впервые получены критериальные уравнения, которые характеризуют процесс теплообмена в насадках из колец Рашига конденсационных котлов;
- впервые получены аналитические зависимости поглощения водой углекислого газа из дымовых газов, при различных качестве воды и температуре;
- впервые обоснован метод снижения эмиссия оксидов азота за счет уменьшения времени пребывания в зоне высоких температур с последующим охлаждением продуктов горения;

- усовершенствован расчет технико-экономических показателей использования электрической энергии с регулируемым потреблением для отопления помещений;

- получило дальнейшее развитие определение потребления топлива на примере 3-х городов Украины и показано его отличие от показателей ДБН.

#### **Практическое значение полученных результатов:**

- впервые разработаны и внедрены новые методы предупреждения насыщения воды карбоновым газом при непосредственном контакте дымовых газов и теплоносителя;

- экономический эффект от внедрения системы обогрева одного дома объемом 21000 - 25000 м<sup>3</sup> составляет 230 тыс. грн. в год;

- определены расходы энергии на теплоснабжение для зданий разного объема и этажности на основании анализа теплоснабжения в 2-х климатических зонах;

- обосновано использование аккумулирования тепловой энергии в веществах с фазовым переходом и ультразвуковым инициированием перехода из жидкого в твердое состояние.

- разработано и запатентовано в Украине устройство для аккумулирования тепла с использованием фазового перехода кристаллогидратов № 74690 № и 2012 04232; заяв. 05.04.12; опубл. 12.11.12, бюл. №21.

**Личный вклад соискателя.** Все основные результаты исследований и выводы получены автором самостоятельно. В работах, которые опубликованы в соавторстве, автором лично выполнено следующее:

- выполнен анализ потребления тепла в трех городах Украины в коммунальных и общественных зданиях; определены удельные расходы топлива от объемов зданий;

- разработаны критериальные зависимости, в которых определяется влияние конструктивных и эксплуатационных факторов на показатели работы котлов, оборудованных тепло- и массообменной насадкой;

- исследовано влияние температуры теплоносителя и длительности его нагрева на степень поглощения карбонового газа в котлах СВТ (системы Высоцкого и Трубицина) в промышленных условиях и в лабораторных опытах;

- обосновано использование возобновляемых энергоносителей и электрической энергии для теплоснабжения;

- исследованы и определены основные параметры процесса аккумулирования тепла в веществах с фазовым переходом.

**Апробация результатов диссертации.** Основные результаты работы и материалы исследований докладывались и обсуждались на II Региональной научной конференции аспирантов и студентов «Экологические проблемы топливно-энергетического комплекса» в Донецком национальном техническом университете (ДонНТУ) в 2011 году, на научно-технической конференции в Донбасской национальной академии строительства и архитектуры (ДонНАСА) в 2012 году, на VI научно-практической конференции «Донбасс-2020: перспективы развития глазами молодых ученых» в г. Донецке в 2012 году, на научном семинаре «Зеленая экономика: возможности и перспективы» в «Эксподонбассе» в 2012 году, на международной научно-практической конференции «Архитектура, градостроительство, историко-культурная и экологическая среда» в г. Брянске в

2014 году.

**Публикации.** Основные научные результаты диссертации опубликованы в 12 печатных работах, общим объемом 2,2 п.л., лично автором – 1,25 п.л., в том числе в 6 рецензируемых научных изданиях, опубликованных в изданиях, включенных в перечень специализированных научных журналов, утвержденный МОН Украины, из которых 1 - публикация включена в международную наукометрическую базу РИНЦ. По результатам исследований получен 1 патент Украины на полезную модель.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, пяти основных разделов, выводов, списка использованных источников и приложений. Общий объем работы составляет 154 страниц, в том числе 109 основного текста, 9 полных страниц с рисунками и таблицами, 10 страниц использованных источников, 17 страниц приложений.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цели и задачи, определены объект и предмет исследований, научная новизна и практическое значение работы. Приведен анализ литературных источников об объекте и предмете исследования, а также научные и методические основы для выполнения данного исследования.

**В первом разделе** приведен анализ состояния теплогенерирующего оборудования, путей повышения его эффективности за счет использования конденсационных котлов, использование возобновляемых источников и электрической энергии, а также аккумулирования энергии. Разработкой методов сокращения расхода природного газа занимались достаточно много ученых: Долинский А.А., Басок Б.И., Редько А.Ф., Аронов И.З., Семенюк Л.Г., Карп И.Н., Губарь В.Ф., Лукьянов А.В., Андрийчук Н.Д., Высоцкий С.П., Олексюк А.А. и др. Известные исследования посвящены решению вопросов совершенствования существующих систем теплоснабжения с целью уменьшения расходов высокореакционных энергоносителей, в том числе с использованием тепла конденсации водяных паров.

Однако использование традиционных методов приводит к уменьшению надежности работы тепловых сетей за счет интенсификации коррозионных процессов.

В работах Долинского А.А., Бовкуна И.А., Скрипникова В.Б., Гелетухи Г.Г., Редько А.А. и др. рассматривались возможности замены высокореакционного топлива нетрадиционными источниками энергии. Однако при этом отсутствует детальный анализ по видам культур и технико-экономическая составляющая их использования.

В работах Жуковского С.С., Кинаша А.В., Андрийчука Н.Д., Петраша В.Д. и др. освещены вопросы обеспечения необходимого теплового комфорта в помещениях и расходов энергоносителей. Но при этом отсутствуют данные об удельном расходе топлива в зависимости от объема помещений и территориального фактора.

Задачи энергосбережения, поиска путей замены высокореакционных энергоносителей, обоснования использования нетрадиционных источников энергии

и электрической энергии, а также аккумулирования теплоты решались методами эволюционного поиска, проведения исследований в лабораторных условиях и на промышленном оборудовании.

**Во втором разделе** представлен анализ расходов на отопление домов. Принимая во внимание значительные объемы топлива, которые расходуются на отопление помещений, важно оценить факторы, которые влияют на удельные расходы топлива.

Эффективность производства, транспорта энергии к потребителям и ее использование в Украине отличается от западноевропейского уровня по этим показателям. Большая часть населения проживает в многоквартирных панельных домах, которые были построены в период низких цен на энергоносители. При этом существовали требования ускорения строительных работ, уменьшение стоимости и материалоемкости производства. Системы централизованного отопления не оснащены устройствами регулирования тепла у потребителя и несовершенными системами выравнивания расхода теплоносителя, что приводит к значительной разнице тепловых потоков по отдельным зданиям.

Общая потребность домов в электрической и тепловой энергии оценивается на уровне  $250-400 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ , в то время как в странах Западной Европы среднегодовая величина составляет  $150-230 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ . В скандинавских странах дома имеют хорошую тепловую изоляцию, в результате среднегодовая потребность теплоты составляет  $120-150 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ . В так называемых термодомах при тщательном выполнении тепловой изоляции затраты энергии составляют  $60-80 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$  в год.

Анализ потребления необходимой тепловой энергии для домов микрорайона «Зеленый» (г. Макеевка) и онкоцентра (г. Кировоград) показал, что в логарифмических координатах кривые идут эквидистантно.

Аналитические выражения для потребления тепла:

- в микрорайоне «Зеленый»

$$Q = 5,23 \cdot 10^{-5} V^{0,91}, \text{ мВт}\cdot\text{ч}/\text{год}, \quad (1)$$

- а для онкоцентра:

$$Q = 3,93 \cdot 10^{-5} V^{0,91}, \text{ мВт}\cdot\text{ч}/\text{год}. \quad (2)$$

Зависимость потребления тепла от объема помещений представлена на рис.1.

Сравнение данных удельного потребления тепла по VTS Clima и полученных автором данных показывает, что общие расходы пропорциональны объемам домов «V» в степени 0,91, а по данным VTS Clima «V» в степени 0,69-0,72. Очевидно, это обусловлено тем, что приведенные данные указанной компании для домов с более качественной тепловой изоляцией. Следует отметить, что по нормам ДБН расходы тепла также пропорциональны объемам зданий в степени 0,77 - 0,79. Таким образом, существует разница между нормированными затратами тепла в соответствии ДБН и фактическими значениями, а также данным компании VTS Clima.

**В третьем разделе** обоснованно снижение потребления природного газа за счет использования конденсационных теплогенераторов.

Снижение температуры отходящих газов и использования скрытой теплоты

парообразования за счет охлаждения отходящих дымовых газов до температуры ниже точки росы является значительным источником энергосбережения.

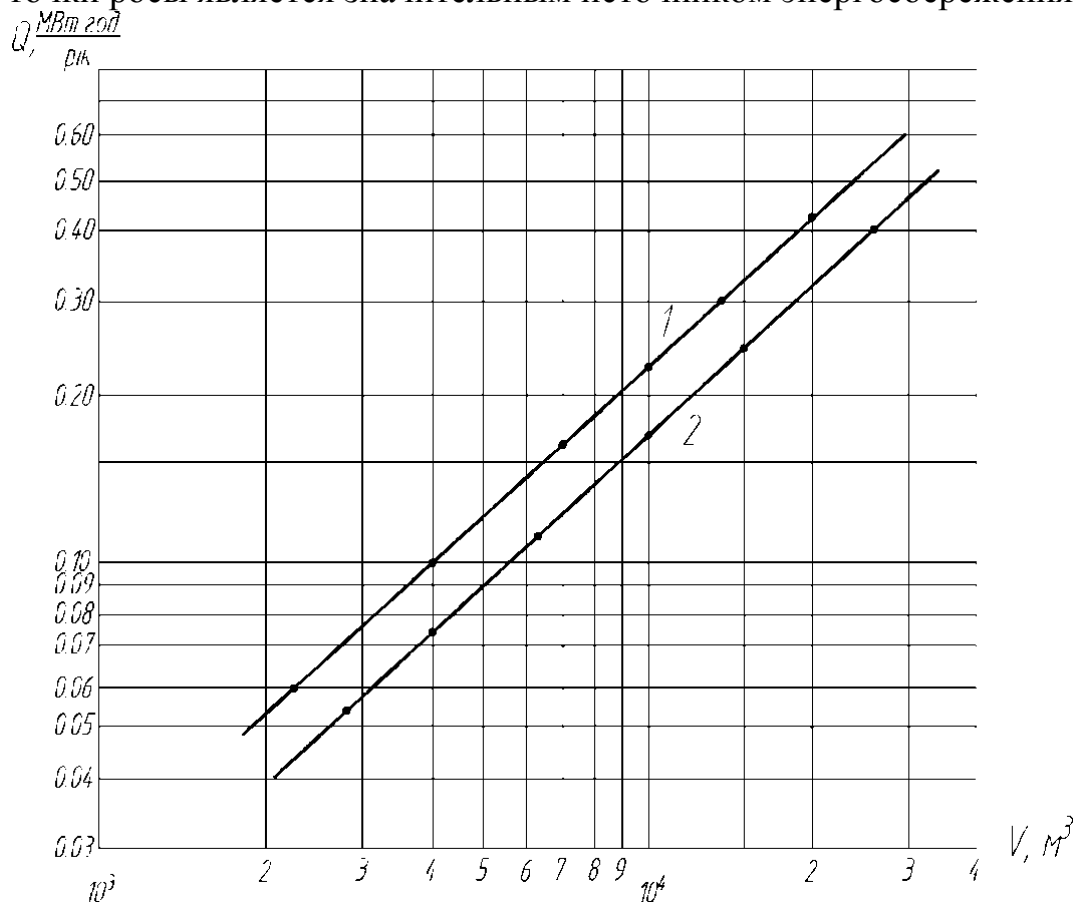


Рис.1. Потребление теплоты в зависимости от объема помещений:  
1 - микрорайон «Зеленый» (г. Макеевка)  
2 - онкоцентр (г. Кировоград).

При охлаждении дымовых газов существенно уменьшается объем отходящих газов и затраты энергии на работу дымососов (при их наличии). Снижение температуры уходящих газов на 2-4°C обеспечивает увеличение коэффициента использования топлива на 1%. Неблагоприятными факторами глубокого захлаживания дымовых газов является возможность конденсации паров воды во внешних газоходах и дымовой трубе.

Важным обстоятельством, благоприятно влияющим на использование конденсационных котлов, является улучшение экологических показателей работы котлов, а именно снижение эмиссии парниковых газов и  $\text{NO}_x$ .

Согласно данным исследований зарубежных ученых, основное внимание к эмиссии углекислого газа, обуславливающего парниковый эффект, несколько преувеличено, поскольку вклад паров воды в парниковый эффект составляет 60-65%, а углекислого газа 25-27%.

Существенное упрощение технологии получения подогретой воды для отопления реализовано в котлах СВТ (Рис.2).



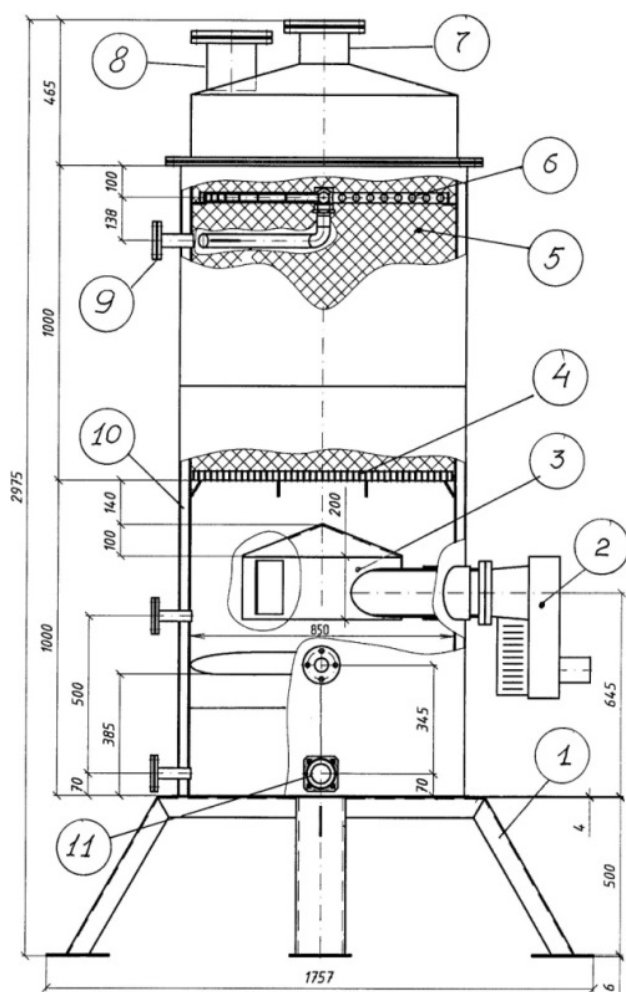


Рис. 2 - Водогрейный котел СВТ

1 - опора; 2 - горелочное устройство; 3 - камера сгорания; 4 - поддерживающая решетка; 5 - насадка из колец Рашига; 6 - распределительное устройство для подачи подогретой воды; 7-патрубок отвода дымовых газов; 8 - патрубок с противозрывного мембраной; 9 - патрубок подвода подогретой воды; 10 – кольце-вой зазор байпасного потока воды; 11 - патрубок отвода подогретой воды.

В указанных котлах для исключения насыщения подогреваемой воды углекислым газом осуществлен двухконтурный подогрев воды: в первом контуре часть потока направляется через насадку на которой подогревается до температуры близкой к  $100^{\circ}\text{C}$ , а другая часть потока во втором контуре проходит по кольцевому зазору и смешивается с водой, подогретой в первом контуре в

нижней части в аккумуляторном баке.

Регулирование температуры воды, которая поступает в теплосеть осуществляется за счет байпасирования части потока через кольцевую «рубашку» вокруг основной теплообменной зоны котла.

Процессы отбора тепла от дымовых газов в поверхностных и контактных аппаратах существенно отличаются.

«Стоимость» каждого градуса охлаждения дымовых газов тем выше, чем больше влажность дымовых газов. При этом по данным Аронова И.С., [6] если для повышения коэффициента используемого топлива (Кит) на 1% в установках без конденсации паров нужно охладить дымовые газы на  $15\text{-}20^{\circ}\text{C}$ , то при конденсации паров воды для такого же повышения Кит достаточно снизить температуру газов всего на  $2\text{-}3^{\circ}\text{C}$ .

Следует отметить, что даже при отсутствии конденсации водяного пара развитая поверхность насадки ( $204 \text{ м}^2/\text{м}^3$ ) обеспечивает существенное увеличение отбора тепла от продуктов сгорания природного газа.

При конденсации паров воды утилизируется скрытая теплота парообразования, в результате чего отбор тепла от сгораемого топлива увеличивается на  $4,29 \text{ МДж}/\text{м}^3$ . В результате чего расход природного газа сокращается на 12,8% (при теплотворной способности природного газа  $33,49 \text{ МДж}/\text{м}^3$ ). С учетом конвективного теплообмена степень утилизации тепла дымовых газов (т.е. эффективности использования топлива) увеличивается на

15-20% (в зависимости от температуры орошающей воды).

Определена возможность исключения дымососа из технологической схемы подогрева воды.

Исключение дымососа из технологической схемы подогрева воды объясняется следующим. При децентрализованном теплоснабжении предусматривается возможность установки данных котлов на крышах зданий, установка дымососов создает ряд неудобств жителям верхних этажей. При этом обеспечивается более надежная эксплуатация с точки зрения техники безопасности и исключается проблема «запаривания» насосов подачи горячей воды - гидроударов при высоких температурах подогрева воды.

Найдено, что в ламинарном режиме котел может работать без установки дымососа.

Увеличение плотности орошения и, соответственно, расхода природного газа обеспечивают форсирование нагрузки котла. В этом случае для установившегося режима его эксплуатации требуется подключение котла к дымососам.

Конденсация паров воды увеличивает коэффициент теплоотдачи от продуктов горения углекислого газа. При этом коэффициент теплоотдачи увеличивается пропорционально доли паров воды более чем в 15,6 раз. На рис. 3 показано влияние доли неконденсирующихся газов « $\varepsilon$ » на соотношение коэффициента теплоотдачи смеси паров воды, с неконденсирующимися продуктами горения « $\alpha_{см}$ » с коэффициентом теплоотдачи паров воды « $\alpha$ ». Аналитическая зависимость, которая описывается в пределах уменьшения доли неконденсирующихся газов от 0,1 до 0,8 с коэффициентом корреляции  $R_2 > 0,98$  описывается уравнением:

$$\frac{\alpha_{см}}{\alpha} = 0,66 \cdot \exp(-4,58\varepsilon) \quad (3)$$

Использование контактных аппаратов, загруженных массо- и теплообменной насадкой с удельной поверхностью до  $200 \text{ м}^2/\text{м}^3$  позволяет значительно интенсифицировать процессы переноса тепла и сократить расход топлива как на существующих котельных при установке в них контактных экономайзеров, так и на вновь строящихся котельных при установке контактных водонагревателей серии СВТ.

Степень конденсации паров воды и, соответственно, коэффициент использования топлива (Кит) котла, зависит от температуры воды орошающей насадку и нагрузки котельной установки.

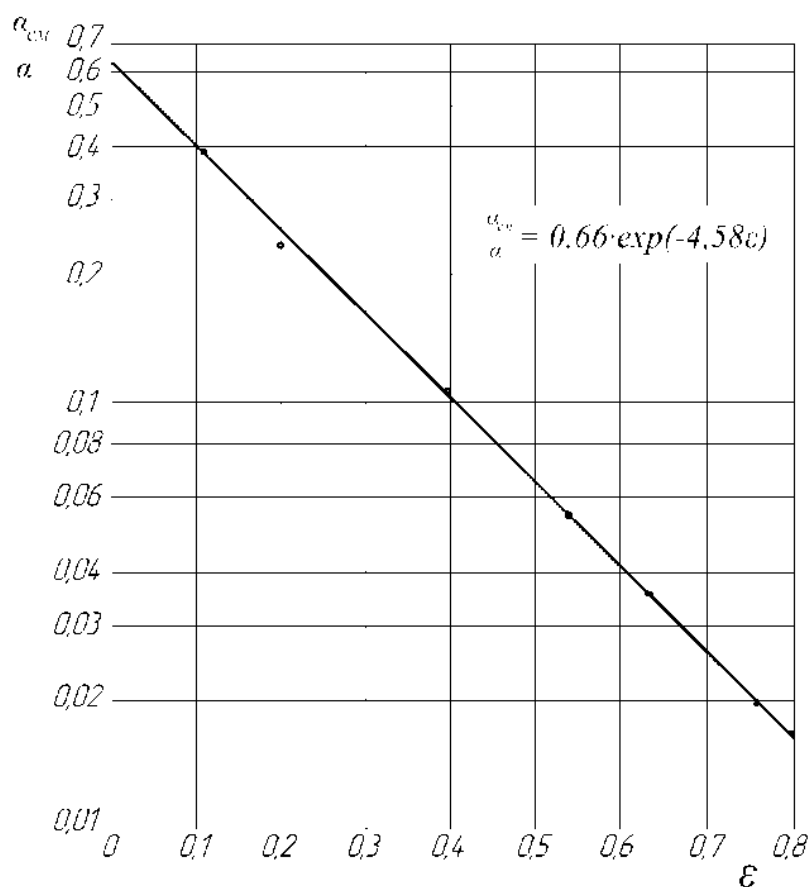


Рис. 3 - Зависимость соотношения коэффициентов теплоотдачи, смеси неконденсирующихся газов и паров воды и коэффициента теплоотдачи паров воды от доли неконденсирующихся газов.

Как видно, из представленных данных, основное влияние на Кит осуществляет температура циркулирующей воды. Однако даже при повышенной температуре циркулирующей воды Кит котла существенно повышается за счет увеличения поверхности контакта дымовых газов с водой. Необходимая поверхность теплопередачи

зависит от коэффициента теплопередачи « $K_T$ ». На указанный коэффициент влияет значительное количество факторов. Учитывая то, что при количестве переменных до десяти для описания « $K_T$ » нужен огромный объем информации, в связи с чем, возникла необходимость в использовании критериальных уравнений. Это позволяет значительно уменьшить количество переменных. При анализе размерностей использовали дополнения Хантли, которые позволяют уменьшить количество критериальных уравнений за счет увеличения числа независимых размерностей. Очевидно, что такие линейные размеры котла с насадкой, как высота насадки, ее ширина, длина (при прямоугольной конфигурации) оказывают абсолютно разное влияние на технологические параметры работы котла. Поэтому в работе представлены независимые размерности  $L_x$ ,  $L_y$ ,  $L_z$ .

В табл. 1 представлена матрица решения критериального уравнения.

Таблица 1

Матрица решения критериального уравнения теплообмена в конденсационном котле

	$L_x$	$L_y$	$L_z$	$M_{ж}$	$M_{г}$	$Q$	$T$	$\tau$	$N$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$K$	-2/3	-2/3	-2/3	0	0	1	-1	-1	1
$V_{г}$	-1	-1			1			-1	a
$W$	-1	-1		1				-1	b
$C_{п}$					-1	1	-1		c
$C_{в}$				-1		1	-1		d
$\mu_{в}$			-1	1				-1	e
$\mu_{п}$			-1		1			-1	f

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\rho_{\text{в}}$	-1	-1	-1	1					g
$\rho_{\text{п}}$	-1	-1	-1		1				m
D/F	1/2	1/2							n
H			1						k

При орошении насадки сетевой водой получена следующая исходная зависимость:

$$\frac{Kd}{\mu_{\text{в}} C_{\text{в}}} = \left( \frac{Vd}{\mu_{\text{з}}} \right)^{0,16} \cdot \left( \frac{Wd}{\mu_{\text{в}}} \right)^{0,85} \left( \frac{\rho_{\text{з}} \mu_{\text{в}}}{\rho_{\text{в}} \mu_{\text{з}}} \right)^m \left( \frac{C_{\text{з}} \mu_{\text{з}}}{C_{\text{в}} \mu_{\text{в}}} \right)^c \left( \frac{d}{H} \right)^{0,68} \quad (4)$$

Основные параметры представлены в матрице:

где, K - коэффициент теплопередачи от продуктов сгорания к воде, кДж/(м<sup>2</sup>·°C);

$V_{\text{г}}$  - массовая скорость продуктов сгорания природного газа, кг/м<sup>2</sup>с;

W - массовая скорость подогревается воды, кг/м<sup>2</sup>с;

$C_{\text{п}}$  - теплоемкость продуктов сгорания природного газа, Дж/кг °C;

$C_{\text{в}}$  - теплоемкость подогревается воды, Дж/кг °C;

$\mu_{\text{п}}$  - динамическая вязкость продуктов сгорания природного газа, кг/м · с;

$\mu_{\text{в}}$  - динамическая вязкость подогревается воды, кг/м · с;

$\rho_{\text{п}}$  - плотность продуктов сгорания, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_{\text{в}}$  - плотность подогревается воды, кг/м<sup>3</sup>;

d - характерный линейный размер (квадратный корень из поверхности орошения), м;

H - высота тепло- и массообменной насадки, м.

Как видно из представленного уравнения коэффициент теплопередачи относительно мало зависит от числа Рейнольдса газового потока Re (влияние примерно, как корень шестой степени) и в значительной степени зависит от числа Рейнольдса потока воды. Конструктивные особенности насадки - соотношение  $d/H = \sqrt{F/H}$  влияют на степени ~ 2/3.

**Четвертый раздел** посвящен обоснованию улучшения экологических показателей систем теплоснабжения и повышения надежности их работы.

Теплофикационные котельные расположены в селитебных районах. Концентрация загрязнителей в приземном слое атмосфере вызывает неудовлетворительное влияние на экологическое состояние указанных районов. Несмотря на то, что высота дымовых труб котельных составляет около 50 м, а высота дымовых труб котлов тепловых электростанций - 250-330 м, то при близких массах выбросов загрязнителей их концентрация в приземном слое может быть больше, чем в котельных в 43 раза. Несмотря на то, что масса выбросов котельных существенно меньше, однако их количество больше и они не оборудованы устройствами для уменьшения эмиссии оксидов азота.

Измерение содержания NO<sub>x</sub> в дымовых газах конденсационного котла от содержания кислорода в степени 1/2 показало, что существует «критическое» содержание кислорода (~ 5,9%), превышение которого приводит к резкому

увеличению содержания  $\text{NO}_x$  (Рис. 4).

Генерация  $\text{NO}_x$  зависит, в основном, от температуры в ядре факела, времени нахождения продуктов сгорания в зоне высоких температур и избытка воздуха.

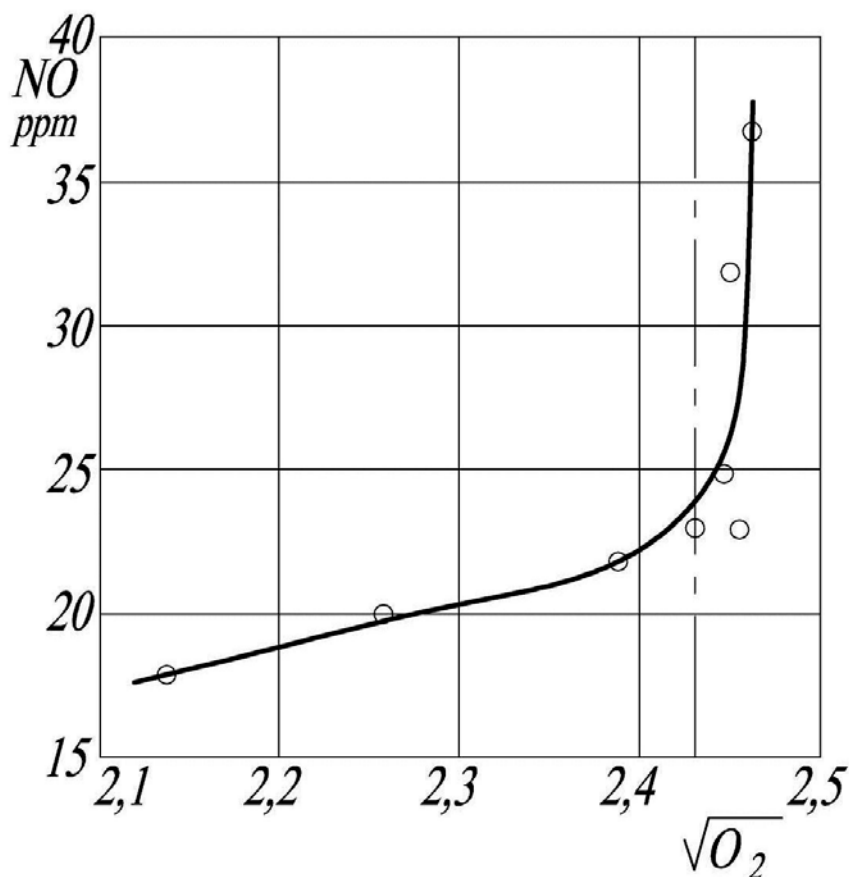


Рис. 4. Изменение содержания  $\text{NO}_x$  в дымовых газах от содержания кислорода в степени  $1/2$ .

Изменение концентрации  $\text{NO}_x$  в продуктах сгорания природного газа в зависимости от времени нахождения дымовых газов в камере сгорания и избытка воздуха  $\lambda$  показано на рис. 5.

Основное влияние на эмиссию  $\text{NO}_x$  предоставляет время нахождения дымовых газов в зоне высоких температур. При увеличении времени пребывания  $>0,3$  сек наиболее существенно влияние избытка воздуха ( $\lambda$ ). Для уменьшения времени пребывания продуктов сгорания в зоне высоких температур объем камеры сгорания был выбран таким, чтобы указанное время в диапазоне наиболее вероятных нагрузок котла составило 0,3-0,5 с.

После выхода из камеры сгорания продукты горения топлива быстро охлаждались орошающей водой до температур 900 - 1000 °С. Это позволило обеспечить концентрацию основных загрязнителей окиси углерода и окислов азота  $\text{NO}_x$  на уровне соответствующем лучшим показателям работы зарубежных котлов.

Обоснована также необходимость удаления диоксида углерода из теплоносителя. Диоксид углерода является причиной коррозионных процессов в котлах и разветвленной сети коммуникаций систем теплоснабжения.

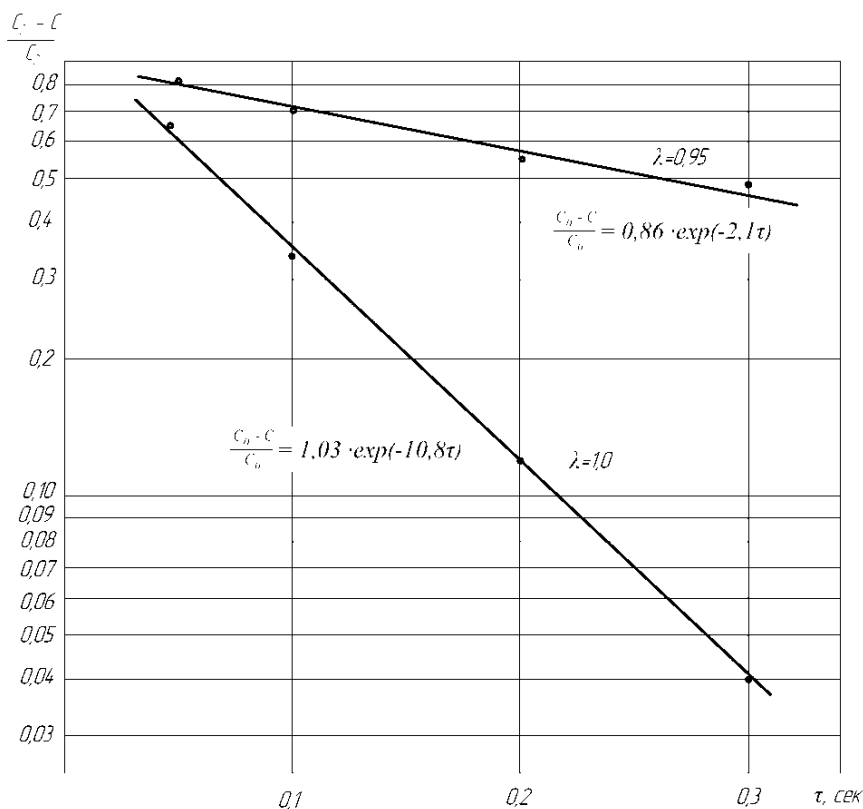


Рис. 5. Зависимость степени генерации NO<sub>x</sub> от избытка воздуха «λ» и времени пребывания продуктов сгорания природного газа «τ» в зоне высоких температур

Наличие диоксида углерода в теплоносителе в исследуемом котле обусловлено двумя причинами: абсорбцией из дымовых газов и термической деструкцией гидрокарбонатов.

За счет подогрева воды на насадке до

температуры близкой к 1000 °С и регулирования температуры сетевой воды в прямой линии путем байпасирования части потока кроме насадки обеспечен деаэрирующий эффект и снижение концентрации потенциально опасных коррозионных агентов.

Влияние температуры воды после подогрева на остаточное содержание диоксида углерода определено на конденсационном котле мощностью 300 кВт. На рис. 6 представленные данные показывают, что с увеличением температуры подогретой воды содержание углекислого газа существенно снижается.

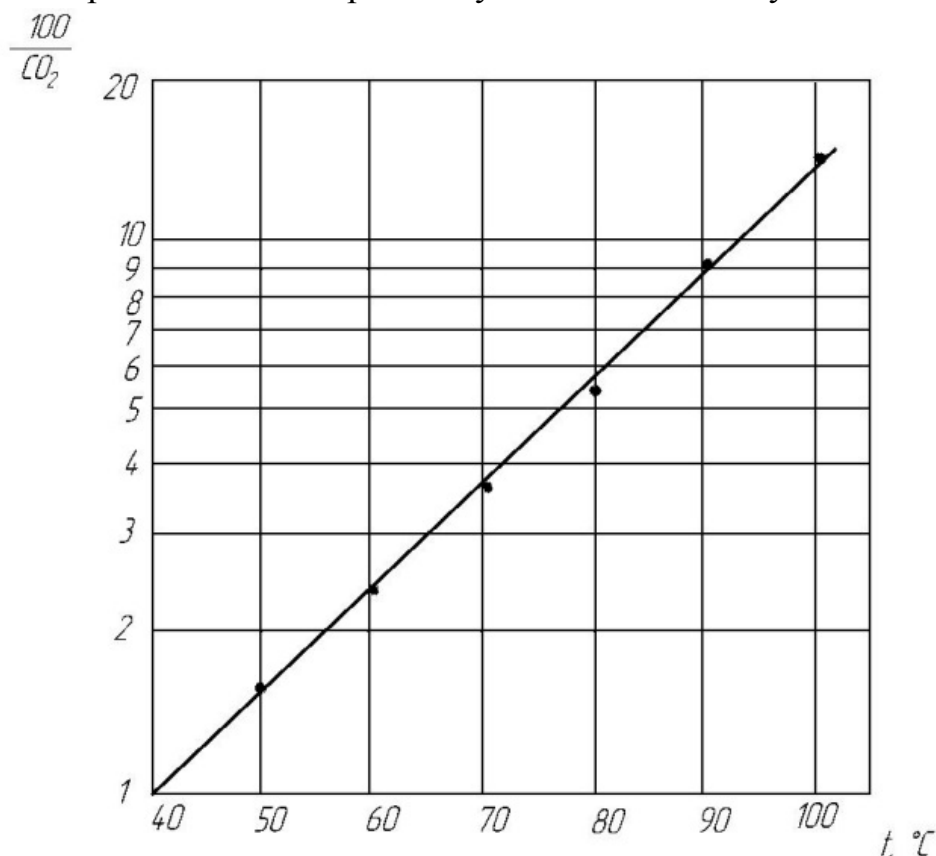


Рис. 6. Зависимость остаточного содержания углекислого газа от температуры воды при непосредственном контакте воды с продуктами сгорания природного газа

Представленные данные с высокой степенью надежности могут быть аппроксимированы экспоненциальной зависимостью

$$CO_2 = 5,88 \cdot 10^2 \exp(-4,44 \cdot 10^{-2} t) \quad (5)$$

Вода, циркулирующая в тепловой сети, обогащается двуокисью углерода и при отсутствии прямого контакта воды с продуктами сгорания топлива. Это происходит в результате термической диссоциации гидрокарбонатных ионов, присутствующих в природных водах.

Исследовано также влияние температуры и продолжительности нагрева теплоносителя на интенсивность гидролиза гидрокарбонатов. По данным измерений концентрации диоксида углерода по отдельным этажам 12-ти этажного жилого дома она составляет от 35 до 45 мг/дм<sup>3</sup> при подогреве воды в водогрейных котлах без прямого контакта теплоносителя с продуктами горения топлива. Это указывает на существенный вклад термической диссоциации гидрокарбонатов в генерацию диоксида углерода.

Для оценки влияния температуры на степень разложения гидрокарбонатов проведено несколько серий опытов при различной продолжительности нагрева воды при заданной температуре. Степень термической диссоциации гидрокарбонатов определялась по величине остаточной щелочности воды (рис. 7).

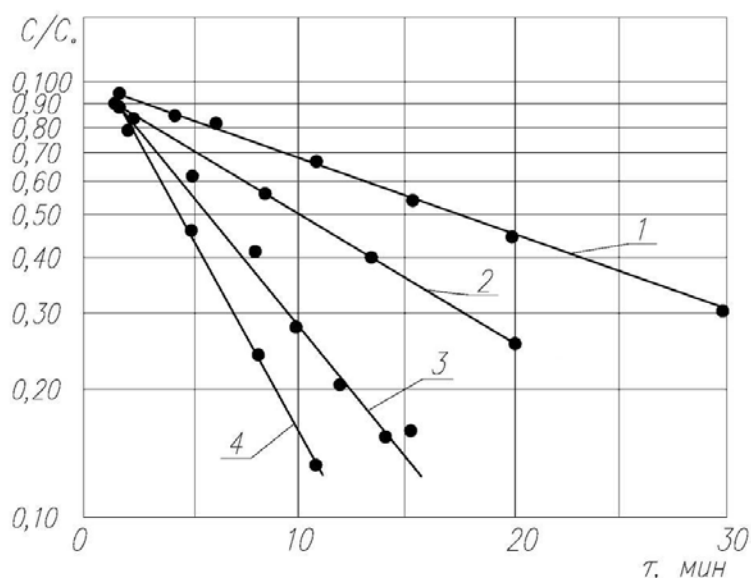


Рис. 7. Зависимость остаточной концентрации гидрокарбонатных ионов от времени и температуры:

- 1 - температура  $t = 73$  °C;
- 2 - температура  $t = 80$  °C;
- 3 - температура  $t = 88$  °C;
- 4 - температура  $t = 93$  °C

После обработки экспериментальных данных получена следующая зависимость показателя  $C_0/C$ , которая характеризует степень термической диссоциации гидрокарбонатных ионов от абсолютной температуры ( $T$ ) и продолжительности действия ( $\tau$ ) определенного уровня температур:

$$\frac{C_0}{C} = \exp[2,157 \cdot 10^{-13} \cdot \tau \cdot \exp(0,075\tau)] \quad (6)$$

Как видно из приведенных данных, в области температур, примерно, до 80 °C процесс термической диссоциации гидрокарбонатных ионов является относительно медленным и существенно ускоряется при последующем повышении температуры воды. Учитывая то, что на насадке в нашем случае вода подогревается до температуры 95-97°С, эту составляющую поступления в воду диоксида углерода

необходимо учитывать.

Равновесное содержание диоксида углерода над раствором зависит не только от температуры, но и от щелочности и pH воды. Равновесие может достигаться уже после поступления подогретой воды в тепловую сеть.

Равновесное содержание  $\text{CO}_2$  и поступление его в газовую среду зависит от pH воды, что является функцией активности водородных ионов и щелочности воды. Выполнена количественная оценка влияния указанных факторов. На рис. 8 приведены данные влияния pH воды на равновесное содержание  $\text{CO}_2$ , полученные нами в результате обработки экспериментальных данных.

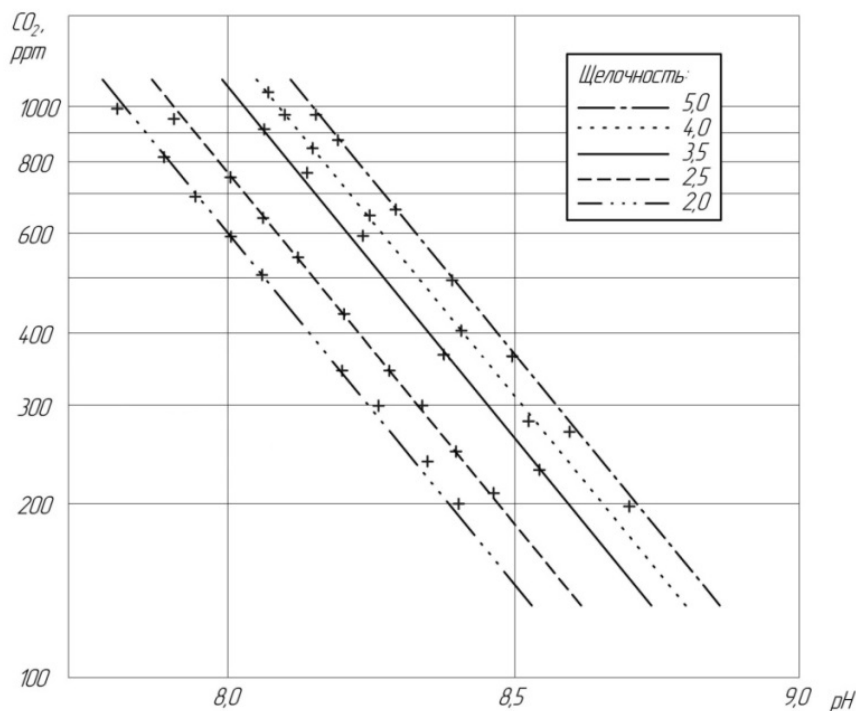


Рис. 8. Зависимость равновесного содержания углекислого газа от pH раствора при различной щелочности сетевой воды

$$\text{Щ} = 5,0; \text{CO}_2 = 23,2 \cdot 10^{10} \cdot \exp(-2,83 \text{ pH}), \text{ моль/л};$$

$$\text{Щ} = 4,0; \text{CO}_2 = 19,6 \cdot 10^{10} \cdot \exp(-2,83 \text{ pH}), \text{ моль/л};$$

$$\text{Щ} = 3,5; \text{CO}_2 = 16,4 \cdot 10^{10} \cdot \exp(-2,83 \text{ pH}), \text{ моль/л};$$

$$\text{Щ} = 2,5; \text{CO}_2 = 11,7 \cdot 10^{10} \cdot \exp(-2,83 \text{ pH}), \text{ моль/л};$$

$$\text{Щ} = 2,0; \text{CO}_2 = 9,16 \cdot 10^{10} \cdot \exp(-2,83 \text{ pH}), \text{ моль/л}.$$

Таким образом, зависимость равновесного содержания  $\text{CO}_2$  от pH и щелочности воды описывается уравнением (7).

$$\text{CO}_2 = 4,28 \cdot 10^{10} \cdot \text{Щ}^{1,08} \cdot \exp(-2,83 \text{ pH}) \quad (7)$$

**В пятом разделе** приведено обоснование использования возобновляемых энергоресурсов и электроэнергии для нужд теплоснабжения. Возобновляемые источники энергии отличаются от традиционных тем, что они имеют сравнительно меньший энергетический потенциал и большую разветвленность или распространенность в пространстве. Это вызывает необходимость и целесообразность внедрения децентрализованного теплоснабжения.

Теплотворная способность биогаза  $Q_{\text{нр}}$  существенно зависит от содержания в нем метана. По выполненным автором оценкам при содержании метана в биогазе «а» от 60 до 97% зависимость теплотворной способности с точностью  $\pm 2\%$  может



быть представлена зависимостью

$$Q_n^p = 34,47 \cdot \alpha^{0,88}, \text{ МДж/м}^3, \quad (8)$$

где  $\alpha$  – доля метана в биогазе.

По данным ФРГ даже при землях качество, которых существенно хуже, чем в Украине, 1 га кукурузы обеспечивает генерацию 17,2 МВт·ч энергии, а для зерновых - 12,9 МВт·ч.

В Украине потребность природного газа, используемого для теплоснабжения составляет 495,3 ГДж, в том числе для городов 464850000 ГДж и сельских местностей - 30,45млн ГДж.

Сельскохозяйственные угодья в земельном фонде страны имеют объем 423 млн. га. Даже, если отнести часть угодий для выращивания энергетических культур для удовлетворения теплофикационных потребностей необходимо всего 13-20% площадей. При этом производительность будет составлять 2-3 тыс. м<sup>3</sup> метана с одного га, а выбросы парниковых газов сокращаются как минимум в 3 раза.

Следует отметить, что выращивание, например, рапса позволяет накапливать топливо и использовать его по мере необходимости. При этом в отличие от получения биодизеля для водогрейных котлов не возникает потребности этерификации с применением дорогих метилового или этилового спирта.

Наряду с преимуществами использования биомассы существует ряд трудностей, обусловленных: прочностью и волокнистостью, что создает проблемы при измельчении; малой удельной плотностью энергии, гидрофильностью и необходимостью сохранения биомассы в закрытых от атмосферной влаги помещений; склонностью к биодеградации при хранении.

Одним из самых доступных источников теплоты является электроэнергия. Использование электроэнергии целесообразно осуществлять при децентрализованных системах теплоснабжения.

Недостатком использования электроэнергии является большая стоимость энергии и необходимость наличия электрической проводки, рассчитанной на соответствующую мощность. Несмотря на относительно низкий КПД генерации электрической энергии (0,3-0,35 на отечественных тепловых электростанциях), использование электрической энергии, вырабатываемой с использованием относительно дешевого угля, позволяет достаточно эффективно реализовать отопление помещений.

При этом целесообразно использовать 3-х зонные тарифы на электроэнергию, установленные национальным комитетом регулирования электроэнергетики. При наличии программируемого потребления энергии за 19 часов ограниченного суточного потребления мощности 1 кВт расходы составят 546,6 коп. за 19 часов потребляется 68,4 МДж тепла (кроме потребления «пиковой» мощности). Удельная стоимость теплоты составит 8,04 коп / МДж. Для условий производства тепла из природного газа при его стоимости на рынке Украины 4,5 грн/м<sup>3</sup> стоимость только топливной составляющей производства при КПД генерации 0,8 и теплотворной способности 33,4 МДж / м<sup>3</sup> будет составлять 16,84 коп/МДж.

При среднем потреблении тепла в расчетном доме 8,36 ГДж (2 Гкал/сут) объемом  $V=21320 \text{ м}^3$  затраты на отопление составят 672 грн/сутки при

использовании электрической энергии, а при использовании природного газа 1408 грн /сутки. Еще одним обстоятельством является то, что при отсутствии персонала, в административных зданиях нет необходимости поддержания температуры 20°C в помещении целые сутки. При продолжительности отопительного сезона, 28 недель, количество нерабочих дней составляет 60 и рабочих 140. При этом затраты на электрическое отопление при регулировании мощности в течение суток и в выходные дни составляют:

$$\Sigma Z_e = (\tau_1 \cdot k_1 \cdot T + \tau_2 \cdot k_2 \cdot T_i)[n_p \cdot (\alpha + \beta) + n_v \cdot \beta], \quad (9)$$

где  $\tau_1$ ,  $\tau_2$  - соответственно, продолжительность работы котла по ночному и полупиковому тарифу, ч.;

$k_1$ ,  $k_2$  - соответственно, коэффициенты НКРЭ для расчета стоимости по зонам суток;

$T$  - базовый тариф стоимости электроэнергии для населения - 36,48 коп / кВт·ч и для промышленных потребителей - 77,97 коп / кВт · ч;

$n_p$ ,  $n_v$  - соответственно, количество рабочих и выходных дней за отопительный сезон;

$\alpha$  - коэффициент загрузки оборудования в течение суток (при работе с номинальной нагрузкой - 0,33),

$\beta$  - коэффициент загрузки при поддержке в помещениях температуры 12 ° С.

За счет ежесуточной регулируемой загрузки расходы на отопление для населения снижаются в 1,72 раза. Общие затраты снижаются в 3,8 раза. Для промышленных потребителей расходы на отопление при КПД электродкотлов 0,9 и потребления электрической энергии в ночные часы сокращаются в 1,76 раза.

При наличии аккумулятора теплоты котел работает только в ночные часы с 23:00 до 7:00. За счет того, что стоимость электроэнергии будет составлять только 0,4 от базового тарифа, расходы на отопление сокращаются еще больше.

При потреблении энергии в периоды «провалов» графиков электрической нагрузки обеспечивается преимущество, как для электростанции - производителя энергии, так и для потребителя. Это обусловлено тем, что при пусках и остановках генерирующего оборудования, кроме его увеличенного износа на пусковые операции тратится значительное количество топлива.

Несмотря на высокую теплоемкость воды использования таких аккумуляторов имеет ряд недостатков: высокие капитальные затраты, сложность выполнения тепловой изоляции, коррозионные ограничения, обеспечение теплового аккумулирования на длительное время, например, на выходные дни и др.

Для отдельных домов в работе разработана схема аккумулирования энергии с использованием фазового перехода кристаллогидратов, что позволяет потреблять электрическую энергию в периоды межпиковой нагрузки.

Отличие во времени потребностей тепла и стоимости энергоносителей указывает на целесообразность аккумулирования тепла при низкой стоимости или избытка теплоты и ее использования в периоды увеличения потребностей тепла и повышенной стоимости энергоносителей.

Одним из перспективных средств аккумулирования теплоты является использование различий в физическом состоянии вещества. При этом за счет

внешнего воздействия на вещество достигается переход этого вещества из твердого состояния в жидкость, или жидкости в паровую фазу. При изотермическом изменении состояния вещества теплота поглощается при переходе вещества из твердого состояния в жидкое состояние, также выделяется теплота при обратном процессе, которая является теплотой фазового превращения.

Весьма доступным веществом для аккумуляирования тепла является вода, которая имеет существенное значение теплоты фазового перехода из жидкого состояния в газообразное - пар - 2,26 МДж/кг при атмосферном давлении 0,1 МПа. Однако разница в объемах фаз пар/жидкость, составляет 1653 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> усложняет возможность использования такого фазового превращения.

При аккумуляировании теплоты для теплофикационных нужд желанной и необходимой является большая теплота фазового превращения и умеренное значение температуры такого изменения состояния. Таким требованиям наиболее соответствуют вещества, которые являются кристаллогидратами. В таких веществах молекулы воды входят в кристаллическую решетку. Для того, чтобы перевести такие вещества в жидкую фазу необходимо подвести значительное количество теплоты. При подведении тепла вещество-кристаллогидрат растворяется в собственной воде и сопровождается возникновением насыщенного раствора вещества.

В лабораторных условиях проведено несколько серий опытов с такими веществами как сульфаты натрия и алюминия. В качестве контрольного вещества-аккумулятора для сравнения использовалась вода.

Наиболее эффективным теплоаккумулирующим веществом является сульфат алюминия, который в несколько раз превышает аккумуляирующую способность воды и в несколько раз аккумуляирующую способность глауберовой соли (сульфата натрия).

Определение величины удельного аккумуляированной теплоты на единицу объема или массы аккумуляирующей вещества находим по следующей формуле

$$Q = C_T \cdot m(T_{II} - T_H) + L_{II} \cdot m + C_P \cdot m(T_B - T_{II}). \quad (10)$$

При расчетах по приведенной формуле для двух типов аккумуляирующих веществ сульфата алюминия и сульфата натрия получаем результаты увеличения количества аккумуляированной теплоты по сравнению с водой для сульфата алюминия в 8 раз и сульфата натрия в 3 раза. Кроме этого, изначально температура фазового перехода сульфата алюминия значительно упрощает использование указанного вещества.

## ВЫВОДЫ

1. Для повышения коэффициента использования топлива при генерации тепла обосновано использование конденсационных водогрейных котлов. В промышленных условиях показано, что применение водогрейных котлов, оборудованных насадкой из колец Рашига обеспечивает повышение  $K_{ит}$  генерации тепла до 98–108 % по  $Q_H^P$ .

2. Выведены критериальные уравнения, которые характеризуют процесс теплообмена в насадочных водогрейных котлах.

3. Применение конденсационных котлов оборудованных тепло и массообменной насадкой позволяет отказаться от водоподготовки и установки дымососов.

4. Определено влияние щелочности сетевой воды, pH и температуры ее подогрева на равновесное содержание угольной кислоты и обоснованы методы предотвращения накопления угольной кислоты в сетевой воде.

5. Впервые выведены аналитические зависимости влияния температуры, избытка воздуха и времени нахождения продуктов сгорания природного газа в зоне высоких температур на степень генерации  $\text{NO}_x$ .

6. Ограничение времени пребывания продуктов сгорания до 0,3-0,5 сек достигается за счет уменьшения объема камеры сгорания.

7. Обоснована целесообразность использования электрической энергии для теплоснабжения с использованием 3-х уровневых счетчиков и аккумулирование энергии в периоды «провала» графика электрических нагрузок.

8. Обосновано использование аккумулирования тепла. Определены параметры применения 3-х типов тепловых аккумуляторов с веществами без фазового и с фазовым переходом. На разработанный аккумулятор получен патент Украины.

9. Применение тепловых аккумуляторов с фазовым переходом позволяет повысить удельную мощность аккумуляторов для сульфатов алюминия и натрия, соответственно, более чем в 10 раз и 3 раза в сравнении с аккумулированием с подогревом воды.

10. На основании анализа теплоснабжения в 2-х климатических зонах для зданий разного объема и этажности определены расходы энергии на теплоснабжение.

## **ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ**

**– публикации в специализированных научных изданиях, рекомендованных МОН Украины:**

1. Высоцкий С.П. Повышение эффективности использования природного газа и уменьшение насыщения теплоносителя углекислым газом в теплофикационных установках [Текст]: / С.П. Высоцкий, А.В. Лукьянов, **А.В. Кондрыкинская** // Вести АДИ ДонНТУ. – 2011. – Вып. № 1 (12). – С. 201-208. *(определение экспериментальных зависимостей степени термической диссоциации гидрокарбонатных ионов от температуры и длительности нагрева воды).*

2. Высоцкий С.П. Економічні та екологічні показники використання теплових насосів та різних видів палива [Текст]: / С.П. Высоцкий, **А.В. Кондрыкинская**, Н.Н. Вахтангишвили // Вестник ДонНАСА «Инженерные системы и техногенная безопасность». – 2012. – Вып. № 2 (94). – С. 9-14. *(определение экономических и экологических показателей).*

3. Высоцкий С.П. Использование и аккумулирование энергии [Текст]: / С.П. Высоцкий, **А.В. Кондрыкинская** // Вести АДИ ДонНТУ. – 2012. – Вып. № 2(15). – С. 155-166. *(выполнение анализа использования тепла в коммунальных предприятиях, выведены аналитические зависимости расходов тепла в зависимости от объема зданий).*

4. Высоцкий С.П. Исследование эмиссии парниковых газов [Текст]: / С.П. Высоцкий, **А.В. Кондрыкинская**, М.В. Кундеус // Вести АДИ ДонНТУ. – 2013. – Вып. № 2(17). – С. 92-100. (*проведение экспериментальных исследований*).

5. Высоцкий С.П. Экономия природного газа и эмиссия загрязнителей при подогреве воды [Текст]: / С.П. Высоцкий, **А.В. Кондрыкинская** // Вестник ДонНАСА «Инженерные системы и техногенная безопасность». – 2013. – Вып. № 5 (103). – С. 120-124. (*анализ результатов работы экспериментальной установки – водогрейного котла*).

6. **Кондрыкинская А.В.** Выбор путей экономии топлива и улучшение экологических показателей в системах теплоснабжения [Текст]: // Журнал «Современное промышленное и гражданское строительство». – 2014. – Вып. №1. – Том 10. – С. 23-31.

– публикации в других изданиях:

7. Высоцкий С.П. Экономия энергоносителей в системах теплоснабжения [Текст]: / С.П. Высоцкий, **А.В. Кондрыкинская** // Сборник научных трудов II региональной конференции «Экологические проблемы топливно-энергетического комплекса». – 2011. – С. 55-57.

8. Высоцкий С.П. Применение контактных аппаратов для подогрева воды [Текст]: / С.П. Высоцкий, **А.В. Кондрыкинская** // Всеукраинский научно-технический журнал «Энергоресурсосбережение». – 2012. – №9 (166). – С. 28-30.

9. Высоцкий С.П. Определение величины и степени неравномерности потребления тепловой энергии в общественных и коммунальных зданиях в Украине [Текст]: / С.П. Высоцкий, **А.В. Кондрыкинская** // Сборник научных трудов III Международной конференции «Научно-техническое и организационно экономическое содействие реформам в строительстве и жилищно-коммунальном хозяйстве». – 2012. - Часть 1. – С.113-117.

10. Высоцкий С.П. Выбор альтернативных источников энергоснабжения [Текст]: / С.П. Высоцкий, **А.В. Кондрыкинская** // Сборник научных трудов VI научно-практической конференции «Донбасс-2020: перспективы развития глазами молодых ученых». – 2012. – С. 368-372.

11. Высоцкий С.П. Экономия топлива и эмиссия загрязнителей при сжигании природного газа [Текст]: / С.П. Высоцкий, **А.В. Кондрыкинская** // Международная научно-практическая конференция «Архитектура, градостроительство, историко-культурная и экологическая среда городов центральной России, Украины и Беларуси». – Брянск. – 2014. – С. 295-303.

12. Высоцкий С.П. Выбор путей повышения эффективности использования энергоносителей и их экономии [Текст]: / С.П. Высоцкий, А.Н. Трубицин, **А.В. Кондрыкинская** // СОК (Сантехника, отопление, кондиционирование). – 2011. – Вып. №2. – С. 44-47. (*проведение экспериментальных исследований*).

13. Пат. № 74690 Украина, МПК F24H 7/00; F24H 9/00. Устройство для аккумулирования тепла для теплоснабжения [Текст]: / Высоцкий С.П., **Кондрыкинская А.В.**; заявитель и патентообладатель С.П. Высоцкий, А.В. Кондрыкинская. – № и 2012 04232; заявлено 05.04.2012; опубликовано 12.11.2012, Бюллетень №21. – 4 с.

## АННОТАЦИЯ

Кондрыкинская А.В. Повышение эффективности теплоснабжения и экологических показателей конденсационных котлов. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.03 – теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение. – Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, Макеевка, 2015.

В диссертационной работе решена актуальная научная и практическая задача обоснования исключения или значительного уменьшения насыщения подогреваемой воды углекислым газом при конденсации водяных паров в водогрейных котлах на массо- и теплообменной насадке. Генерация теплоты в водогрейных котлах с непосредственным контактом дымовых газов и подогреваемой воды значительно интенсифицирует процесс подогрева воды за счет развитой поверхности контакта и высокого градиента температуры между фазами. С использованием метода анализа размерностей Бекингема с учетом дополнения Хантли составлены критериальные уравнения процесса нагрева воды. Для снижения эмиссии  $\text{NO}_x$  обосновано уменьшение времени пребывания продуктов горения природного газа в зоне высоких температур с последующим захлаживанием. Показано, что основным источником насыщения сетевой воды углекислым газом является термическая деструкция гидрокарбонатов. Выведены аналитические зависимости влияния температуры, длительности нагрева, щелочности и показателя pH воды на равновесное содержание углекислого газа. Выполнен анализ расхода тепла на отопление коммунальных и общественных зданиях, по данным, собранным в трех городах Украины. Показано, что удельные затраты тепла пропорциональны корню кубическому из объема помещений. Обосновано использование для обогрева помещений различного ряда возобновляемых источников энергии и, в частности, рапсового масла. Для снижения затрат на отопление в условиях постоянного роста цен на природный газ обосновано использование электрической энергии с ее потреблением в периоды межпиковых нагрузок.

Выполнено исследование аккумулялирования теплоты в 3-х средах: воде, сульфате натрия и алюминия. Применение последних двух веществ позволяет аккумулялировать тепловую энергию при фазовом переходе из твердого в жидкое состояние и возвращать энергию в тепловую сеть при инициировании кристаллизации с использованием ультразвуковых устройств. Показано значительное преимущество перед водой и сульфатом натрия в качестве аккумулялирующего вещества сульфата алюминия. Последний, обладает большим температурным потенциалом и удельной аккумулялирующей способностью. Автором вместе с руководителем получен патент Украины на устройство для аккумулялирования тепла.

**Ключевые слова:** энергосбережение, затраты тепла, возобновляемые энергоносители, углекислый газ, аккумулялирование тепла, фазовый переход, критериальные уравнения.

## АНОТАЦІЯ

Кондрікінська А.В. Підвищення ефективності теплопостачання та екологічних показників конденсаційних котлів. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.03 – теплопостачання, вентиляція, кондиціонування повітря, газопостачання і освітлення. – Донбаська національна академія будівництва і архітектури, Макіївка, 2015.

Виконаний аналіз споживання тепла в будівлях жилого та нежилого фонду в 3-х містах України. Досліджені умови поглинання карбонового газу в водогрійних котлах з безпосереднім контактом води та димових газів на тепло та масообмінній насадці. Отримані критеріальні залежності, що характеризують роботу водогрійних котлів із конденсацією водяного пару. Для зменшення емісії  $\text{NO}_x$  при підігріві води обґрунтовано обмеження тривалості перебування продуктів горіння природного газу в зоні високих температур з наступним заохолодженням газів. Основним джерелом насичення мережевої води вуглекислим газом є термічна деструкція гідрокарбонатів. Виведені аналітичні залежності впливу температури, тривалості нагріву, лужності та рН води на рівноважний вміст карбонового газу. Представлені результати аналізу використання для теплопостачання відновлювальних джерел енергії та електричної енергії. Проведені дослідження акумулювання теплоти із використанням фазового переходу в речовинах – акумуляторах. Результати роботи використані при розробці котлів, обладнаних насадкою, а також при використанні акумулювання теплоти для нежилых приміщень.

**Ключові слова:** енергозбереження, витрата тепла, відновлювальні енергоносії, карбоновий газ, акумулювання тепла, фазовий перехід, критеріальні рівняння.

## SUMMARY

Kondrykinskay A.V. Increase of efficiency of heat supply and ecological indexes of condensation caldrons. – The Manuscript.

The thesis is submitted to obtain the Candidate of Science Degree, Speciality 05.23.03 – Heat supply, ventilation, climatization, gas supply and lighting. – Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, Makeyevka, 2015.

The analysis of water heating boilers with straight contact of heated water and flue gases is investigated in industrial conditions.

The analysis of heat consumption in different kinds of buildings is performed. The carbonic gas absorption condition in water heating boilers is investigated. The createrial equation, that clarify boiler operation with water vapour condensation is worked out.

To avoid the nitrogen dioxide emission in water heating boilers it is necessary to reduce time of hot gases being in high temperature zone and consequent it cooling.

The results of use nontraditional energy sources and electrical energy for district water heating are shown.

The accumulation of heat energy in phase transition is investigated.

**Key words:** heatconsumption, carbonic gas, expenditure of heat, nitrogen dioxide emission, heat accumulation, phase transition, createrial equation.