

**НАПРАВЛЕНИЕ: ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА****СЕКЦИЯ 1. АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ  
ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ**

УДК 621.1

**НЕЙРОСЕТЕВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК  
ПОВЕРХНОСТНЫХ ИНТЕНСИФИКАТОРОВ ТЕПЛООБМЕНА**

Э.Ю. АДИБЕВА, А.М. МЕРЗЛЯКОВ, КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. д-р техн. наук, проф. К.Х. ГИЛЬФАНОВ

Поверхностные интенсификаторы теплообмена широко используются в энергетике. Они позволяют значительно повысить эффективность теплообменников. Особенно выгодно использование таких теплообменников в высокоэнергетических установках, например, газотурбинных.

Анализ литературных источников показывает, что обобщить характеристики поверхностных интенсификаторов теплообмена общепринятыми уравнениями сохранения не удастся, ввиду сложности тепловых и гидромеханических процессов. Обобщение в виде эмпирических формул зависимости чисел Нуссельта от чисел Рейнольдса и Прандтля справедливы лишь в диапазоне параметров проведённых экспериментов.

Нейросетевое моделирование позволяет обобщить результаты экспериментов сложных процессов, «заглядывая» за пределы параметров, в которых были проведены опыты.

Существующие на сегодняшний день программные пакеты, предоставляющие средства разработки нейронной сети имеют определённые ограничения по управлению работы нейронной сети и по отслеживанию выполнения расчёта. В связи с этим была создана прикладная программа для расчёта на базе стандартных языков программирования высокого уровня, используя существующие модели.

Функционирование нейронной сети состоит из двух этапов обучения сети «правильному» или адекватному реагированию на входную информацию (входной вектор) и использования обученной сети для распознавания входных векторов. Последний этап часто называют

тестированием. Другими словами, сеть учится распознаванию входных векторов, т.е. формирование выходных векторов, соответствующих распознанному классу входных векторов.

В качестве «учителя» был использован экспериментальный материал в виде эмпирических критериальных зависимостей. Тестирование алгоритма показало, что данный нейросетевой метод моделирования можно использовать для обобщения результатов по поверхностным интенсификаторам теплообмена.

УДК 621.365

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА КАК ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ**

А.С. БАЖУТКИН, А.А. КОШЕЛЕНКО, А.П. МОСТОВОЙ, С.И.  
СЕМЕНОВ, СамГТУ, г. Самара  
Науч. рук. д-р техн. наук, проф. А.И. ДАНИЛУШКИН

При восстановлении работоспособности дисков турбоагрегатов методом термоупрочнения одним из эффективных методов нагрева, наиболее полно отвечающим всем требованиям практики термопластического упрочнения, является индукционный нагрев. Однако на пути реализации преимуществ индукционного нагрева возникает ряд специфических проблем. К ним относится проблема разработки математических моделей взаимосвязанных электромагнитных и тепловых полей, ориентированных на создание автоматических систем управления процессом нагрева. Для моделирования электромагнитных и тепловых параметров системы используется численный метод. Мощность внутренних источников тепла, характеризующих нагрев проводящих тел индукционной системы, вычисляется для каждого элемента по закону Джоуля-Ленца. Для учета нелинейной зависимости магнитной проницаемости от напряженности магнитного поля в ферромагнитных областях разработан итерационный алгоритм многократного решения исходной системы уравнений. В начальной стадии расчета задается значение магнитной проницаемости по всей области ферромагнитных макроэлементов, затем вычисляются распределенные параметры поля, что позволяет на следующей стадии расчета корректировать магнитную проницаемость внутри каждого конечного элемента в зависимости от значения напряженности магнитного поля в данной области. Итерации

повторяются до полной сходимости процесса. Результаты расчета электромагнитной задачи в виде функции распределения внутренних источников тепла положены в основу определения в процессе нагрева температурного поля диска. Полученная модель положена в основу синтеза системы автоматического регулирования процессом индукционного нагрева.

УДК 681.5.01(075)

## **РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНОГО СИМУЛЯТОРА ДЛЯ ПОДГОТОВКИ И ТЕСТИРОВАНИЯ ПЕРСОНАЛА ТЭС**

Р.А. БИЛАЛОВ, А.Н. ПРЕЦ, И.Ф. СИБГАТУЛЛИН, КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. д-р техн. наук, проф. К.Х. ГИЛЬФАНОВ

Основными причинами технологических нарушений по вине персонала являются ошибки при переменных режимах, когда в короткие сроки необходимо правильно среагировать на изменившуюся ситуацию. Это требует от персонала полного понимания технологического процесса и опыта работы с энергетическим оборудованием. Другими словами для надежной и эффективной работы станции необходимо выработать у операторов определенные интеллектуальные навыки, которые позволили бы им в критические моменты оказать правильные воздействия на объект и тем самым избежать аварийных ситуаций.

Использование компьютерных симуляторов в подготовке персонала электростанции решает эту проблему. Работая на симуляторе обучающийся на экране монитора может видеть как протекает весь процесс, может сам воздействовать на него и проследить за реакцией системы на эти действия. При этом управление осуществляется виртуальным объектом, потому в процессе работы на симуляторе нет риска нанести ущерб реальному оборудованию.

Для создания симулятора используется среда Lab VIEW. Среда позволяет разрабатывать прикладное программное обеспечение в автоматизированных системах управления технологическими процессами.

Разработка симулятора ведется для ГТУ 50 МВт на Казанской ТЭЦ-1, АСУТП которой выполнена в среде «Овация». Симулятор имеет абсолютно идентичный графический интерфейс для контроля состояния системы и управления технологическим процессом. Это позволит

облегчить переход персонала после обучения на симуляторе к работе с реальной системой управления.

На данном этапе работы на симуляторе можно выполнить подготовку ГТУ к запуску: запустить дожимной газовый компрессор, заполнить котел-утилизатор, подготовить систему маслоснабжения генератора и газотурбинного двигателя, а затем выполнить сам запуск ГТУ.

УДК 621.365

## **СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА РЕАКТОРА**

И.В. ВАСИЛЬЕВ, Е.П. ДОМЕРТ, С.В. КНЯЗЕВ, А.В. КОЖЕМЯКИН,  
СамГТУ, г. Самара

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. А.И. ДАНИЛУШКИН

Рассматривается задача синтеза системы автоматического управления температурным полем химического реактора с индукционным нагревом. В качестве базовой модели рассматривается математическая модель процесса теплопроводности в цилиндрической системе, состоящей из разнородных по физическим свойствам сопряженных по торцевым поверхностям тел, расположенных в металлической трубе. Задача теплообмена между стенкой реактора и цилиндрическими телами внутри него решается с использованием граничных условий четвертого рода. Тепловой контакт поверхностей принимается идеальным. Численное моделирование процесса индукционного нагрева осуществлялось с помощью среды технологических расчетов ELCUT. На основе проведенных исследований определены параметры индукционной системы и разработан алгоритм управления тепловым режимом установки. В условиях достаточно малых погрешностей отработки заданного температурного состояния в замкнутой системе регулирования предлагается линеаризованная модель температурного поля в отклонениях от этого состояния, описываемая линейным неоднородным уравнением нестационарной теплопроводности. На основании решения дифференциального уравнения теплопроводности получены передаточные функции системы «индуктор–температурное поле в рабочей зоне реактора» в виде изображения по Лапласу функции Грина для температурного поля относительно мощности внутренних

теплоисточников. Синтезирована замкнутая система управления температурным полем реактора на базе пропорционально–интегрального регулятора.

УДК 621.92

## **ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПОТОКА ПРИ ИЗУЧЕНИИ ГИДРОМЕХАНИКИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ИНТЕНСИФИКАТОРОВ ТЕПЛООБМЕНА**

И.Ф. ГАТАУЛЛИН, Д.Р. МАХМУТОВ, РА. НУГМАНОВ, КГЭУ, Казань  
Науч. рук. д-р техн. наук, проф. К.Х. ГИЛЬФАНОВ

Поверхностные интенсификаторы теплообмена в виде полусферических (сегментных) выемок широко используются в теплообменном оборудовании. Интерес к такому типу интенсификаторов возрос после появления сообщений о повышении коэффициента теплоотдачи при одновременном снижении гидравлического сопротивления. Они позволяют значительно повысить эффективность теплообменников.

Экспериментальная установка представляет собой аэродинамическую трубу разомкнутого типа. Рабочим участком служит проточная часть прямоугольного сечения 32x120 мм, в которой установлена модель теплообменной поверхности с полусферическими углублениями диаметром ( $D = 19$  мм). Число Рейнольдса, вычисленное по заданной скорости набегающего потока  $w_0 = 20\text{--}25$  м/с и по диаметру углубления, составляет  $(40 - 60) \cdot 10^3$ . Регулятором расхода служит заслонка. Для визуализации вихря использовался зубной порошок.

На рис. 1. отчетливо видно траекторию движения частицы в этом вихре, что свидетельствует о наличие вихревой структуры с эпицентром в первой четверти полусферического углубления. Налипание порошка на стенке лунке, смещенное к краю, свидетельствует о направлении оси вихря. Размеры и характеристики вихревой структуры зависят от скорости воздушного потока и числа  $Re$ .

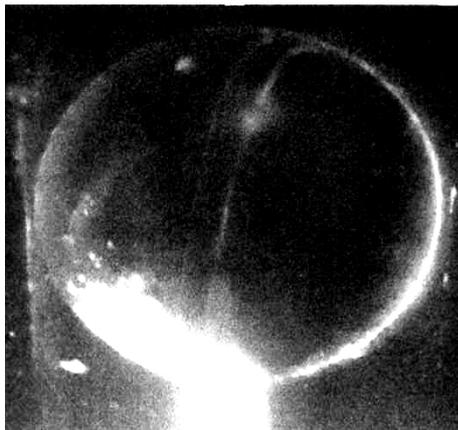


Рис. 1. Визуализация вихря (направление движения воздушного потока сверху вниз)

УДК 621.365

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПРОЦЕССА КОСВЕННОГО ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА ЖИДКОСТИ**

Ю.С. ГОЛОВАЦКИЙ, С.А. ЗУБАРЕВ, Д.В. НАМНЯСОВ, П.И. РУБАН,  
СамГТУ, г. Самара

Науч. рук. канд. техн. наук, асс. В.А. ДАНИЛУШКИН

Рассматриваются вопросы динамики процесса нагрева жидкости как объекта системы автоматического регулирования температуры в проходном индукционном нагревателе.

Исследуемый объект относится к объектам с распределенными параметрами. Задача реализации систем управления объектами с распределенными параметрами резко усложняется по сравнению с системами с сосредоточенными параметрами как за счет необходимости осуществления пространственно-распределенного контроля состояния объекта, так и за счет необходимости построения регуляторов с пространственно-распределенными управляющими воздействиями. Для определения передаточных функций объекта в настоящей работе используется переходная функция, полученная расчетным путем с помощью численной модели. Для идентификации вида и определения параметров передаточной функции используется переходная функция, полученная на основании численного эксперимента. Полученные передаточные функции описывают динамические свойства объекта в области малых отклонений регулируемой величины от установившегося значения, т.е. соответствуют линеаризованной модели объекта. Показано,

что в рассматриваемой ситуации с достаточной для многих практических задач точностью передаточную функцию объекта можно представить в виде суммы  $N$  параллельно соединенных апериодических звеньев и звеньев транспортного запаздывания. На основании полученных результатов синтезирована система автоматического регулирования температуры с распределенным контролем температуры на выходе из нагревателя.

УДК 681.5

## **СОЗДАНИЕ ЛАБОРАТОРНО–ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДА ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ, ПРОГРАММИРОВАНИЮ, МОНТАЖУ И НАЛАДКЕ ЛОКАЛЬНЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ**

С.Ю. КИСЕЛЕВ, В.Ю. ЧИНГИН, КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. канд. техн. наук, ст. преп. А.Н. БОГДАНОВ

Особенностью данной работы является двойственность назначения – учебная и научная. Слабостью многих дипломных проектов по специальности «Автоматизация» является отсутствие «практической» проверки правильности разработанного проекта – студент разработал проект, так как он себе это представляет. Стенд позволяет студентам на практике проверить свои теоретические знания, а также наработать определённый практический опыт по монтажу и наладке средств автоматизации. Стенд предназначен для изучения: основ проектирования локальных автоматизированных систем регулирования (АСР), принципов построения и программирования устройств на основе микроконтроллера Т-МК1, монтаж данных средств автоматизации, и наладку данного оборудования. Он является лучшим наглядным материалом по устройству и работе простых и сложных механизмов и систем.

Научная составляющая заключается в сравнении различных способов программной автоматизации – на территории РФ автоматизация базируется на классических законах регулирования, в то же время реализация данных законов, поиск настроечных коэффициентов может сильно различаться. В Японии активно развивается технология «нечеткой логики» (fuzzy Logic), интерес так же вызывают нейронные сети – всё это пока не нашло широкого распространения в проектировании автоматизированных систем в России. Существует много теоретических

высказываний как «за», так и «против», однако не достаточно подкрепленных практическими примерами.

УДК 681.12

## **РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СТЕНДА НА БАЗЕ ПРИБОРОВ «ЭЛЕМЕР»**

А.В. КОЗЛОВ, Р.Р. ГАЛИМОВ, КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. д-р техн. наук, проф. К.Х. ГИЛЬФАНОВ

Современный уровень автоматизации требует от специалистов знаний технологических процессов и поэтому при обучении студентов необходимо использовать установки, максимально приближенные к реальным.

Стенд представляет собой аэродинамическую разомкнутую трубу. Основными технологическими частями установки являются горизонтальная емкость со входом и выходом, и нагнетатель, который подает воздух в емкость. На выходе нагнетателя установлен тахометрический расходомер и регулирующий клапан с исполнительным механизмом типа «МЭО». «МЭО» связан с модулем дискретного выхода УСО ЭЛЕМЕР–EL–4000, который, в свою очередь, получает информацию с компьютера по соответствующим интерфейсам. В качестве регулирующего органа используется поворотный шаровой кран с диаметром  $D = 32$  мм. Для замера гидравлических параметров установлена трубка Пито.

Для нагрева воздуха присутствует нагревательный элемент, мощностью 2 кВт. Предполагается измерять температуру воздуха в емкости до нагревателя и температуру воздуха после него. Измерение осуществляется при помощи термопар типа ТСПУ 0104–Ех–МГ–t1060–50...+50С–0,5–ИТЦ420Ех/М4–ГП–ТУ. Сигналы с термопар передаются на модуль аналогового входа УСО ЭЛЕМЕР–EL–4000. После модуля информация передается в компьютер по соответствующим интерфейсам. Все КИПиА питаются через блок питания типа БП-96.

Этот стенд будет использоваться для обучения студентов технологическим процессам, представленным в этом стенде.

УДК 681.3

## **ВЫБОР ЧАСТОТЫ И ПЛОТНОСТИ МОЩНОСТИ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ИНДУКЦИОННОЙ ТЕРМООБРАБОТКИ**

В.О. ЛАВРУХИН, Д.А. СЯТКИН, СамГТУ, г. Самара  
Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.Н. ПРОЦЕНКО

Для успешной автоматизации операций индукционного нагрева важно правильно выбрать требуемую мощность и надлежащую частоту.

Частота, плотность мощности и продолжительность определяют фактическую глубину нагрева. Размер и форма нагреваемой детали также могут повлиять на выбор частоты. Плотность мощности также является фактором управления глубиной нагрева.

При закалке мелких деталей, следует принять меры против подавления тока. Как правило, высокая частота, используемая для поверхностной закалки, приводит к явному скин-эффекту. Наоборот, если выбранная частота слишком низка, нагревание более глубоко, чем необходимо. Вообще говоря, глубина проникновения на оптимальной частоте в 1,2–3 раза больше необходимой глубины закалки. Это отношение как раз достаточно для компенсации охлаждения/оттока тепла к холодному ядру.

В большинстве публикаций, посвященных индукционному нагреву, распределение плотности вихревых токов и плотности мощности по радиусу/толщине заготовки представляется упрощенно как экспонента, уменьшающаяся от поверхности внутрь заготовки. Однако, в действительности, это предположение о показательном распределении плотности тока не может быть сделано для операций поверхностной закалки. В этих операциях, в течение больше чем половины времени нагрева, поверхность заготовки не магнитна, так как нагрета выше температуры Кюри. В то же самое время, ее внутренние слои остаются магнитными.

Если частота была выбрана правильно, толщина немагнитного слоя – меньше чем глубина проникновения в горячей стали. В подобных случаях, благодаря явлению двойных свойств, распределение плотности мощности имеет уникальную волнообразную форму, которая отличается от классического показательного распределения.

Возможность учитывать явление волнового распределения плотности мощности имеет заметное влияние на выбор частоты, обеспечивающей необходимую глубину закалки.

УДК 681.518.5

## МОДЕЛЬ ИНТЕРФЕЙСА ОПЕРАТОРСКОЙ СТАНЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ПРЯМОТОЧНЫМ КОТЛОМ

И.И. МИНГАТИН, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, ст. преп. А.Н. БОГДАНОВ

Моделирование является одним из приемов научного познания, исследования и расчета при решении вопросов проектирования и создания новых машин, в частности и систем управления ими. Методы проектирования лежат в основе кибернетики и широко используются в прикладных разделах, например, автоматизации производственных процессов.

Модели объектов управления относятся к классу информационных и описывают их причинно-следственные связи. Во время выполнения данной работы большое значение уделялось идентичности модели интерфейса с используемым интерфейсом на производстве, включая выбор среды разработки. Модель создана с использованием программного обеспечения «PCS7». Для создания интерфейса операторской станции (ОС) был использован графический интерфейс ОС автоматизированной системы управления котлоагрегатом №5 ТЭЦ Марийского целлюлозно-бумажного комбината, разработанного филиалом ООО «КЭР-Инжиниринг» «КЭР-Автоматика». Модель котлоагрегата реализована системой моделей входящих в его состав элементов: задвижек, клапанов, емкостей, трубопроводов и др.

В терминах теории автоматического управления модель объекта – это средство получения информации о влиянии входных воздействий на выходные управляемые величины и параметры. Для описания моделей элементов котлоагрегата использовались передаточные функции вида

$$W(p) = \frac{k}{Tp + 1} .$$

Созданная модель позволяет проводить изучение и анализ переходных процессов котлоагрегата, подбирать оптимальные настройки автоматических регуляторов, а также способы регулирования процессов.

Разработанную модель можно также применить в образовательном процессе с целью повышения знаний учащихся по технологии производства тепло- и электроэнергии. Использование моделей, созданных

в промышленных SCADA-системах в учебном процессе, даёт студентам возможность дополнительного изучения таких систем.

УДК 532.5

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОМЕХАНИКИ ОБТЕКАНИЯ ПОТОКОМ ПОВЕРХНОСТИ С ИНТЕНСИФИКАТОРАМИ ТЕПЛООБМЕНА В ВИДЕ ОДИНОЧНЫХ ВЫЕМОК**

Р.А. НУГМАНОВ, А.А. ДОРОФЕЕВ, КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. д-р техн. наук, проф. К.Х. ГИЛЬФАНОВ

В настоящее время очень популярным становится моделирование течений газов и жидкости с помощью специализированных программных пакетов, таких как Fluent и Phoenix. Эти пакеты, при правильном задании уравнений, описывающих процесс течения газа или жидкости, и граничных условий, позволяют получить гидромеханическую картину, соответствующую реальному течению, не прибегая к опытным экспериментам, которые порой являются неосуществимыми. Вдобавок, моделирование делает процесс течения более наглядным, что дает возможность использовать его в образовательной деятельности.

В качестве объекта моделирования была выбрана поверхность с равномерно распределенными полусферическими выемками (кавернами), обтекаемая потоком газа. Выемки такого типа широко используются в качестве поверхностных интенсификаторов теплообмена в теплообменном оборудовании. Они позволяют значительно повысить эффективность теплообменников.

Моделирование осуществлялось при помощи специализированного программного пакета Phoenix для моделирования течений жидкости и газов. Целью моделирования было проанализировать влияние соседних каверн на смещение турбулентного вихря в отдельном углублении. В ходе данного исследования удалось смоделировать поведения газового потока в полусферических выемках и получить эпюру распределения скоростей в отдельной каверне.

УДК 621.31

## **МЕТОД КОНТРОЛЯ ПРОЦЕССА ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА ПАРАФИНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В НЕФТЕПРОВОДНЫХ ТРУБАХ**

## **ПО ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ**

А.И. ОРЛОВ, МарГУ, г. Йошкар-Ола  
Науч. рук. д-р физ.-мат. наук, проф. И.И. ПОПОВ

Наряду с вопросами предотвращения парафинизации скважинного оборудования важной проблемой является ремонт демонтированных насосно-компрессорных труб с целью их последующего использования. Ключевой операцией при этом является очистка от парафиновых отложений. Существует способ очистки демонтированных труб, состоящий в пристеночном плавлении слоя парафиновых отложений без их полного расплава. Пристеночное плавление парафиновых отложений происходит благодаря последовательному посекционному разогреву трубы индуктором по секциям, которые включаются поочередно, начиная с одного конца трубы, до разогрева ее противоположного конца. Оплавленный пристеночный слой парафиновых отложений является смазкой при извлечении из очищаемой трубы твердой массы отложений. Снижение энергопотребления установки очистки невозможно без оценки глубины и скорости расплава парафиновых отложений, времени начала плавления и своевременности отключения каждой секции, поэтому контроль этих характеристик является актуальной задачей.

Разработан метод контроля толщины парафиновых отложений и динамики его фазового перехода по интегральной диэлектрической проницаемости, позволяющий по известным геометрическим размерам нефтепроводной трубы определять толщину отложений и их жидкой фазы. Разработана математическая модель метода контроля. Показано, что момент начала и окончания плавления характеризуется резким изменением скорости падения интегральной диэлектрической проницаемости и пиками ее ускорения. На основе проведенного математического моделирования фазового перехода парафина из твердого состояния в жидкое для всей нефтепроводной трубы в режиме посекционного наращивания зоны их жидкой фазы установлено, что контроль производится строго в исследуемой области и нагрев соседних участков трубы практически не влияет на процесс контроля. Результаты математического моделирования подтверждены экспериментально.

УДК 519.24

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХКАНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ**

## **АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ГАЗОВОЗДУШНОГО ТРАКТА ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОТЛА**

А.А. ПОНОМАРЕВ, НГТУ, г. Новосибирск  
Науч. рук. д-р техн. наук, проф. А.С. ВОСТРИКОВ

В докладе обсуждается задача синтеза САР газовоздушного тракта (ГВТ).

Разработана математическая модель с учетом взаимного влияния регулируемых величин, что упрощает построение системы.

Исследование модели показало, что в реальной ситуации могут быть колебания, поскольку система дифференциальных уравнений, характеризующих объект имеет комплексно сопряженные корни.

Проведен синтез и исследование свойств системы регулирования по методу локализации, не применявшемуся ранее для теплоэнергетических объектов.

Полученный двухканальный регулятор отрабатывает возмущения и входные воздействия, удовлетворяет требованиям статики и динамики, позволяет корректировать неучтенные в модели части объекта.

Эффективно применять регулятор на практике позволяет его успешная работа с неизменными настройками даже при «сильном» изменении параметров объекта.

Научное направление данного исследования является актуальным, поскольку энергетическая отрасль нуждается во все более точном и качественном регулировании, что обеспечивает повышение надежности и экономической эффективности эксплуатируемого оборудования.

УДК 621

## **ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ НЕФТЕДОБЫВАЮЩИХ КОМПЛЕКСОВ**

А.Н. РОЩУПКИНА, АГНИ, г. Альметьевск  
Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Э.Р. ЕНИКЕЕВА

Для поддержания рентабельности нефтегазодобывающей отрасли необходимо уменьшение себестоимости добычи углеводородов.

В связи с этим создаются проекты «Интеллектуальные скважины» (ИС), целью которых является повышение эффективности и надежности

работы нефтяных скважин при одновременном снижении затрат на обслуживание и ремонт. Эти цели будут достигнуты за счет:

- увеличения дебита скважин при одновременно-раздельной эксплуатации нескольких пластов;
- применения новых технологий повышения отдачи отдельных пластов;
- изготовления рабочих элементов из никелидтитановых сплавов, обладающих эффектом памяти формы, сверхупругостью, высокой коррозионной стойкостью и демпфирующими свойствами с целью значительного увеличения срока службы технологического скважинного оборудования;
- увеличения межсервисных интервалов и снижения затрат на ремонт.

Результатом проекта представляется создание автоматизированной системы управления процессом добычи, транспортировки, переработки и предсказания аварийных ситуаций, а также создания системы виртуального проектирования всей системы нефтедобычи от геологической разведки до консервирования каждой скважины, реанимации истощенных месторождений, ввод в эксплуатацию месторождений тяжелых и вязких нефтей.

Главным условием снижения затрат по добыче нефти, обслуживанию и ремонту скважин является повышение производительности оборудования. Принципиально новый подход к решению технических проблем добычи углеводородов, применение не использовавшихся ранее в нефтяной отрасли материалов и технических решений, использование научных разработок из разных отраслей знаний позволит создать не имеющую аналогов высокопроизводительную интеллектуальную скважинную систему мирового уровня.

УДК 681.3

## **УЧЕТ НЕЛИНЕЙНЫХ СВОЙСТВ ФЕРРОМАГНЕТИКОВ ПРИ СИНТЕЗЕ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ИНДУКЦИОННЫМИ НАГРЕВАТЕЛЯМИ**

Д.В. САМЫЛОВСКИЙ, СамГТУ, г. Самара  
Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.Н. ПРОЦЕНКО

При индукционном нагреве ферромагнитных заготовок распределение внутренних источников тепла нелинейно зависит от температуры. Только численные методы позволяют с достаточной точностью учитывать эту зависимость при решении электромагнитных задач и задач теплопроводности. Реализация численных методов решения таких задач в программных комплексах типа Femlab и Elcut не решает полностью все вычислительные проблемы. Так, например моделирование процесса сквозного нагрева цилиндрических ферромагнитных заготовок с помощью программного комплекса Elcut хотя и требует решения связанных задач, однако не позволяет непосредственно учесть зависимость свойств нагреваемого металла от температуры.

Глубина проникновения тока, а, следовательно, и распределение внутренних источников тепла в холодной стали зависит от частоты тока и напряженности магнитного поля. В процессе нагрева изменяются такие свойства металла как удельное электрическое сопротивление, теплопроводность, теплоемкость. Эти изменения в свою очередь изменяют функцию распределения внутренних источников тепла. В такой ситуации необходимо проводить расчет в несколько шагов по времени с последовательным уточнением значений параметров, зависящих от температуры.

Для учета нелинейной температурной зависимости свойств стали и повышения точности учета изменения магнитной проницаемости, целесообразно разделить заготовку на слои по глубине. На глубине проникновения тока необходимо иметь не менее двух слоев для учета зоны выделения максимальной мощности. Для уменьшения количества слоев их толщина с глубиной может увеличиваться, так как скорость изменения температуры на глубине уменьшается. Общая толщина слоев должна быть в несколько раз больше глубины проникновения тока.

Предложенная модель позволяет учитывать нелинейные свойства объекта при синтезе алгоритмов управления процессами индукционного нагрева ферромагнитных заготовок под пластическую деформацию.

УДК 681.5

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ ВОДЫ  
ГРАДИРНИ С АВТОМАТИЗИРОВАННЫМИ ПОВОРОТНЫМИ  
ПАНЕЛЯМИ ВОЗДУХОВОДНОГО ОКНА**

С.А. СЕМЕНОВ, Д.Р. ГИЛЯЗОВ, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. К.Х. ГИЛЬФАНОВ

Гради́рня – устройство для охлаждения воды направленным потоком атмосферного воздуха. Современные градирни применяются в системах оборотного водоснабжения промышленных предприятий для понижения температуры воды, отводящей тепло от теплообменных аппаратов. Охлаждение происходит за счёт испарения части воды при стекании её тонкой плёнкой (каплями) по специальному оросителю, вдоль которого в противоположном движению воды направлении подаётся поток воздуха.

Воздухораспределительная система. Данное устройство - вертикальные поворотные панели (ПП) состоит из каркаса блоков вертикальных ПП и собственно вертикальных поворотных панелей.

ПП имеют трехслойную структуру: сталь-пенополиуретан-сталь и способны выполнять двойную функцию: ветрозащита и теплоизоляция. ПП состоит из сэндвич-панели с вертикальными нащельниками, эксцентричной оси вращения. На концах оси установлены влагозащищенные шариковые подшипники. Панели установлены в проеме каркаса блоками по 3 шт. и 2 шт., в блоке ПП связаны между собой жесткой кинематической связью. Горизонтальные щели между ПП и каркасом также закрыты нащельниками. Для фиксации ПП в нужном положении конструкцией предусмотрены фиксаторы. Полный диапазон поворота 0–90 °. Проемы от уровня розетки градирни до нижних подшипниковых узлов ПП закрываются листовой сталью.

Принцип работы ПП автоматический и ручной с участием оператора, основанный на использовании полевой метеостанции (полученных с нее показаний о температуре окружающей среды, скорости и направлении ветра) и исполнительного механизма типа МЭО.

Предложенный способ позволяет повысить эффективность охлаждения воды за счет маневренного регулирования поворотными панелями, исходя текущих метеоусловий, по заложенному в контроллер алгоритму или непосредственно по «командам» оператора.

УДК 536.7

## **ПРИМЕНЕНИЕ ЭКСЕРГЕТИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ ПРИ ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА**

Ю.С. СИДОРОВА, КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. канд. техн. наук, доц. В.В. ПЛОТНИКОВ

В свете все возрастающей потребности в продуктах органического синтеза, которые находят широкое применение в различных отраслях народного хозяйства и в быту, остро встает вопрос энергоэффективности.

Одним из перспективных направлений энергосбережения является создание систем утилизации ВЭР. Однако его реализация сопряжена с рядом трудностей. В частности, возникает необходимость проведения анализа эффективности производства, что представляет определенную трудность, поскольку вся теплотехническая схема производства какого-либо конкретного полиолефина представляет собой тысячи единиц оборудования с разветвленной системой связей. Поэтому прибегают к термодинамическому анализу, основой для которого в данном случае является эксергетический метод.

Сущность этого метода заключается в подсчете эксергии веществ потоков в соответствующих точках системы и определении основных эксергетических характеристик. В результате разнообразных процессов изменяется эксергетическая ценность веществ потока, обусловленная отличием их параметров от параметров окружающей среды. Чем существеннее эта разница, тем более ценным является вещество в плане совершения работы.

Эксергия вещества в потоке классифицируется в зависимости от вида энергетических взаимодействий с окружающей средой. Обобщенных сил, соответствующих таким взаимодействиям (если исключить электрические, магнитные, ядерные) три: температура, давление и химический потенциал. Таким образом, в рассмотрение берутся термомеханическая и химическая эксергии потоков. Следовательно, общая эксергия вещества (смеси веществ) представляется в виде суммы термической, механической и химической составляющих.

Этот расчет, проведенный с учетом качественной стороны энергетических превращений, делает возможным разработку методов совершенствования схемы, а, следовательно, улучшение технико-экономических показателей ее эксплуатации.

УДК 681.5

## **РАСЧЕТ И ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ РЕГУЛИРОВАНИЯ**

Т.Н. ТАРАКАНОВ, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, ст. преп. М.Ю. ВАСИЛЬЕВА

В настоящее время при автоматизации технологических процессов и производств широко используются системы автоматического регулирования (САР) с обратной связью. В САР применяются следующие разновидности регуляторов: П, И, ПИ и ПИД-регуляторы. При этом порядка 90–95 % регуляторов, находящихся сегодня в эксплуатации, используют ПИД-алгоритм.

В работе рассмотрены ПИД-регуляторы и их разновидности для одномерных объектов, которые наиболее распространены в автоматических системах управления технологическими процессами и производствами.

Для расчета и исследования динамики САР разработан комплекс программ, созданный в интегрированной среде программирования Borland C++ 2005, который включает в себя следующие программы:

- определение математической модели объекта регулирования по экспериментальной переходной функции и проверка адекватности полученной модели;
- построение амплитудно – фазовой характеристики объекта по каналам регулирующего и возмущающего воздействий;
- определение оптимальных настроек П, И, и ПИ-регуляторов и построение границы области заданного запаса устойчивости;
- определение оптимальных настроек ПИД-регулятора;
- построение переходных процессов в системе с П, И, ПИ и ПИД-регулятором при ступенчатом воздействии по каналу регулирования и по каналу возмущения;
- определение эффективной полосы пропускания частот САР.

Основные методы, использованные при выполнении данной работы: метод Рунге-Кутты, метод площадей, метод расширенных амплитудно-фазовых характеристик.

Разработанный программный комплекс может найти эффективное применение для расчета и исследования динамики САР промышленных объектов, а так же для дипломного проектирования в учебном процессе.

УДК 681.5

## **РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ УПРАВЛЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ ЗАМКНУТОГО ТИПА**

Е.О. ФАДЕЕВА, КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. д-р техн. наук, проф. К.Х. ГИЛЬФАНОВ

Спрос на системы диспетчерского управления и сбора данных – SCADA-системы (Supervisory Control And Data Acquisition System) возрастает из года в год, что обуславливает появление новых и совершенствование существующих HMI – систем, что обуславливает актуальность темы исследования. Цель работы: разработка программы управления гидравлическим объектом с помощью локальной системы управления в составе контроллера SIMATIC C7-635 и персонального компьютера. Для программирования и конфигурирования блоков управления SIMATIC C7-635 используется программное обеспечение, включающее инструментальные средств конфигурирования и программирования встроенного контроллера и проектирования человеко-машинного интерфейса. Для данной гидравлической системы замкнутого типа было необходимо разработать SCADA, которая выполняла бы следующие функции: прием информации о контролируемых технологических параметрах (уровень, температура, расход в рабочей емкости, уровень в дренажной емкости); непосредственное автоматическое управление технологическим процессом; оперативное управление ходом технологического процесса (управление насосом, управление регулирующим клапаном); сохранение принятой информации для дальнейшей обработки и формирования сводных данных; графическое представление хода технологического процесса (мнемосхема объекта), принятой и архивной информации в удобной для восприятия форме (графики); система оповещения об обнаружении аварийных событий (поле аварий); ведение журнала аварий, тревог. Для создания программного обеспечения управления лабораторной установкой кафедры АТПП будем использовать программные пакеты SIMATIC STEP 7 и SIMATIC WinCC. Данные инструментальные средства позволяют проводить разработку программных и аппаратных средств в пределах одного проекта, в результате на основе требования к программной и аппаратной частям происходит создание и конфигурирование необходимых средств и сетей, рабочих программ и блоков данных для решения задач автоматизации.

УДК 681.3

**ТЕХНОЛОГИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ПОДГОТОВКИ БИТУМА  
ДЛЯ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ЗАВОДОВ**

Л.Г. ФОРМАКИДОВА, УГАТУ, г. Уфа  
Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Р.Р. НУГАЕВ

Строительство и ремонт автомобильных дорог в современных экономических условиях требуют постоянного снижения стоимости работ, дорожно-строительных материалов, оборудования. Асфальтобетонные заводы (АБЗ) являются основными производственными предприятиями дорожного хозяйства, и именно от качественного приготовления асфальтобетонных смесей в основном зависит качество и долговечность дорожного покрытия. Битумы являются базовым вяжущим компонентом асфальтовой смеси. Его физико-химические свойства являются определяющими для необходимого качества конечного продукта.

Подготовка битума, как составляющая технологического регламента АБЗ, представляет собой энергоемкий процесс с специфическими требованиями к температурному режиму и временным ограничениям. Подготовка битума является основной статьей расхода электроэнергии на АБЗ. Поэтому решение проблемы снижения стоимости асфальтовой смеси предполагает разработку и внедрение новых энергосберегающих технологий.

Были проведены исследования процессов термической подготовки на различных типах битумных хранилищ АБЗ с учетом специфических требований технологического регламента и получены математические модели процессов нагрева битума для используемых конструкций электрических нагревателей. Разработаны оптимальные алгоритмы для работы систем термической подготовки битума по критериям сохранения его физико-химических свойств в условиях технологических перерывов графика работы АБЗ. Предлагается система мониторинга и управления технологическим процессом подготовки битума для АБЗ.

УДК 681.5

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИГРОВЫХ МЕТОДОВ ПРИ ПОДГОТОВКЕ  
ИНЖЕНЕРА ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ  
«АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ»**

В.Ю. ЧИНГИН, КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. канд. техн. наук, ст. преп. А.Н. БОГДАНОВ

Качество подготовки современного студента по техническим специальностям сильно зависит от того насколько заинтересован учащийся. Если рассматривать ситуацию теоретически – то каждый студент заинтересован в получении знаний по преподаваемым дисциплинам, однако на практике это не всегда так.

Один из используемых методов в образовании – внедрение в учебный процесс различных игровых элементов. Большой процент современной молодежи тратит много времени на компьютерные игры – начиная от шутеров, аркад и заканчивая rpg и стратегиями. «Увлекательность» современных компьютерных игр заключается не только в графике, реалистичности и т.п.

Использование игровых методов связано с требованиями повышения эффективности обучения за счет более активного включения студентов в процесс не только получения, но и непосредственного использования знаний.

Целью работы должна стать разработка компьютерной программы, содержащей классическую информацию из учебного материала по одной из технических дисциплин, но при этом с элементами, позволяющими дополнительно заинтересовать студентов. Программа выполняется в виде теста с различными по организации этапами. При прохождении всех этапов студенту предоставляется возможность регулярно выбирать направление, проявлять инициативу и узнать много нового и интересного об изучаемой дисциплине. По ходу тестирования будет меняться как стиль, так и тематика вопросов. Нелинейность и случайный выбор вопросов из базы дадут возможность повторного прохождения. В самом тесте также скрыты различные сюрпризы, открывающиеся постепенно и создающие новые возможности участнику. В результате программа предназначена не только для проверки знаний, но и для обучения студентов.

Работа ведется в SCADA-системе TRACE MODE. Среда разработки была выбрана не случайно, поскольку разрабатываемая программа позволяет познакомиться студентам с возможностями данного специализированного класса ПО.

## **СЕКЦИЯ 2. ПРОМЫШЛЕННАЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА**

УДК 66.974.434

### **ВАРИАНТ ПОВЫШЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ РАСТВОРОВ**

## ПРИ ВЫПАРКЕ СТОКОВ ВОДОПОДГОТОВИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ТЭЦ

К.Ю. АФАНАСЬЕВ, ТПУ, г. Томск

Науч. рук. канд. техн. наук, ст. преп. Л.И. МОЛОДЕЖНИКОВА

Тепловые электростанции являются крупными источниками различных видов сточных вод, одним из которых являются сточные воды водоподготовительных установок.

Наиболее подходящие для выпаривания сточных вод испарительные установки условно можно разделить на те, в которых раствор контактирует и не контактирует с поверхностью нагрева. В установках первого типа образуются отложения солей с соответствующим снижением плотности теплового потока и производительности установок. При этом неизбежны периодические остановки на чистку поверхности нагрева, снижающие технико-экономические показатели и усложняющие эксплуатацию установок. Степень концентрирования в них существенно ограничена из-за резкого увеличения отложений с ростом концентрации раствора.

Одним из путей уменьшения отложений солей на поверхностях нагрева и значительного увеличения концентрации растворов является использование аппаратов погружного горения (АПГ).

В этих аппаратах создаются хорошие условия теплообмена между нагретыми газами и жидкостью, так как при барботаже нагретые газы распыляются в виде пузырьков и образуют большую межфазную поверхность. Интенсивное перемешивание раствора ускоряет процесс нагрева.

В ходе работы был спроектирован выпарной аппарат с погружными горелками для концентрирования раствора сульфата натрия  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  из сточных вод, образованных при регенерации и обмывке катионитных и анионитных фильтров водоподготовительной установки ТЭЦ.

Полученный в результате выпаривания сульфат натрия может найти широкое применение в различных отраслях промышленности. Он один из основных компонентов шихты в производстве стекла, используется также при переработке древесины, при крашении хлопчатобумажных тканей, для получения вискозного шелка, различных химических соединений – силиката и сульфида натрия, сульфата аммония, соды, серной кислоты. Растворы сульфата натрия используются в качестве аккумулятора тепла в устройствах, сохраняющих солнечную энергию.

УДК 66.048

## **КОНЦЕНТРИРОВАНИЕ СЕРНОЙ КИСЛОТЫ С ПОМОЩЬЮ АППАРАТА ПОГРУЖНОГО ГОРЕНИЯ**

Н.А. БАБУШКИН, К.В. СЛЮСАРСКИЙ, Л.Ю. РОДИНА, ТПУ, г. Томск  
Науч. рук. канд. техн. наук, доц. В.Д. КЛОПОТОВ;  
ст. преп. Л.И. МОЛОДЕЖНИКОВА

Концентрирование отработанной серной кислоты на производстве является очень важным технологическим процессом на предприятиях, имеющими дело с опасными веществами для здоровья людей и всего живого.

В работе рассматривалось концентрирование отработанной серной кислоты после процесса травления металла на предприятии.

Концентрирование растворов кислот может осуществляться в различных тепломассообменных аппаратах. Анализируя эффективность процесса испарения в аппаратах, был сделан вывод, что наиболее эффективным выпарным аппаратом является выпарной аппарат с погружной горелкой.

В работе была предложена технологическая схема применения данного аппарата. В ней он занимает место после регенератора травильных стоков, который очищает от посторонних примесей отработавший раствор. Аппарат состоит из корпуса и погружной горелки, к которой подводится воздух и газ. В камере сгорания, после смешения газов, происходит процесс горения, после чего раскаленные газы барботируют в концентрируемый раствор серной кислоты.

Непосредственный контакт продуктов сгорания с раствором, позволяет максимально использовать тепло отходящих газов. Это позволяет более эффективно, по сравнению с трубными аппаратами, концентрировать раствор.

Так как раствор кислоты агрессивен, корпус аппарата и горелку защищают с помощью кислотостойкого бетона.

В работе был составлен тепловой баланс аппарата, рассчитаны габаритные размеры не только корпуса и горелки, а также и предохранительные устройства и брызгоулавливатель.

Применение подобных аппаратов поможет руководству предприятий получить не только экономический эффект от применения подобного оборудования, но и решить проблему утилизации отработавшего раствора

в цехе. Регенерация и концентрирование подобных растворов позволяет повторно использовать экологически вредные вещества.

UDC 66.0

## **TECHNOLOGY FOR PRODUCING INERT GAS**

N.A. BABUSHKIN, TPU, Tomsk

Research supervisor, assistant professor L.I. Molodezhnikova

Academic supervisor, assistant professor G.A. Nizkodubov

Nitrogen, carbon dioxide, flue gas with low content of oxygen and carbon monoxide are used to protect explosive and fire hazard of production.

Inert gases are used to fill equipment and vessels.

Inert gases are used for protection of flammable liquids in containers. Pairs of these liquids with air can reach explosive concentrations.

If the plant requires an inert gas with a low degree of purity, it is the flue gas.

Application of the apparatus with submerged burners is the most effective and profitable way to obtain an inert gas.

Plant for the inert gas consists of a submersible vehicle with a burner and two scrubbers. Inert gas in the scrubber was washed and cleansed of impurities. Flue gases are bubbled into water, which is located in the apparatus with submerged burners. The device is installed a regime in which the temperature of the gas mixture below 40 °C.

Gas-vapor mixture from the apparatus enters the scrubber. It steam-gas mixture sprayed soda solution. Part of the water vapor condenses and partially absorbed by carbon monoxide and carbon dioxide.

If you install build quality, it can produce an inert gas consisting of 72–74 % nitrogen, 12 % carbon dioxide. The product will be less than 0,2 % of carbon monoxide, less than 0,8 % oxygen, less than 14 % water vapor.

Using the machine with a submersible burner is economically advantageous. Price of the product gas is several times less than the cost of nitrogen and carbon dioxide produced in other industrial settings.

УДК 621.4

**ЭНЕГОСБЕРЕЖЕНИЕ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ**

А.О. БОБОК, КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. ст. преп. А.И. ФАЗУЛЛИНА

На всех стадиях своего развития человек был тесно связан с окружающим миром. Но с тех пор как появилось высокоиндустриальное общество, опасное вмешательство человека в природу резко усилилось. Расход невозобновляемых видов сырья повышается. Возникла проблема энергосбережения – проблема реализации производственных, научных, технических, организационных, экономических и правовых мер, имеющих цель достижения экономически обоснованного значения эффективности использования энергетических ресурсов.

Выбраны основные направления экономии энергоресурсов: совершенствование технологических процессов, совершенствование оборудования, снижение прямых потерь топливно-энергетических ресурсов, структурные изменения в технологии производства, структурные изменения в производимой продукции, улучшение качества топлива и энергии, организационно-технические мероприятия. Проведение данных мероприятий вызывается не только необходимостью экономии энергетических ресурсов, но и важностью учета вопросов охраны окружающей среды при решении энергетических проблем.

Поэтому были выделены основные направления энергосбережения:

- энергоаудит: проведение энергетических обследований организаций;
- энергоучет: внедрение централизованных систем учета энергоресурсов на промышленных предприятиях;
- регулирование энергопотребления: внедрение систем регулирования потребления энергоресурсов от источника их производства до конечного потребления;
- реконструкция промышленных вентиляционных установок;
- модернизация топливных и электрических печей;
- модернизация энергетического оборудования.

Вследствие этого, энергосбережение рассматривается не как бесцельная экономия энергетических ресурсов, проводимая зачастую за счет сокращения объема производства, а как фактор экономического роста, улучшения благосостояния населения, обеспечения соответствующей экологической и социально-бытовой обстановки.

## МАЛОИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ЗАПАСЫ ТОПЛИВА

А.В. БОБРОВА, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. С.А. ЛИВШИЦ

Россия занимает первое место в мире по разведанным запасам угля. Тем не менее, за последние тридцать лет использование топлива в нашей стране значительно сократилось. Сейчас регионы РФ сидят на газовой игле, а это, при прекращении подачи газообразного топлива или при низких температурах атмосферного воздуха уже приводило, и в последующий момент может привести к возникновению чрезвычайных ситуаций. Снижение доли потребления угля в России вызвано рядом объективных причин: большими объемами добычи нефти и газа; сложностью, топливоподготовки; устаревшими технологиями; значительной долей в угле негорючих минеральных включений и примесей, в том числе и образующих экологически опасные вещества при воздействии разных температур в процессе химических реакций. При этом его добыча осуществляется в основном открытым способом, поэтому данный вид твердого топлива – самое дешевое в нашей стране горючее. Положительным моментом в использовании данного вида топлива являются его огромные природные запасы, превышающие запасы нефти и природного газа. Это необходимо использовать для экономического подъема России. Одним из аргументов против использования угля является высокий уровень вредных выбросов продуктов сгорания. Чтобы завтра не было дефицита тепла и света, необходимо уже сегодня создать условия ученым и выделить средства для внедрения существующих новых технологий. Известно, что любое углеводородное топливо, включая и уголь, горит в газообразном состоянии. Для первичного нагрева, прогрева и воспламенение угольных частиц требуется подвод тепловой энергии – так называемая подсветка в противном случае процесс горения прекращается.

Сегодня данный вид углеводородного горючего способен успешно конкурировать с жидким или газообразным топливом, а в перспективе уголь может возвратиться в качестве топлива на железнодорожный и морской транспорт. Ни одна высокоразвитая страна мира не позволяет себе такую роскошь, как отопление исключительно газообразным или жидким топливом котельных агрегатов крупных ТЭС.

УДК 662.997:621.43

## АККУМУЛЯЦИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

М.Р. БУРХАНОВ, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. И.А. КОНАХИНА

Рассматривается концепция «солнечный дом», то есть дом, отапливаемый за счет поглощения солнечной радиации солнечным коллектором. По климатическим данным в г. Казани наиболее неблагоприятными месяцами для «солнечного дома», когда среднемесячная инсоляция на горизонтальной поверхности не превышает  $1 \text{ кВт/м}^2$ , являются: ноябрь, декабрь, январь. В связи с этим возникают следующая проблема: в наиболее холодные месяцы года поступление солнечного тепла резко снижается.

Для решения этой проблемы предлагается система «солнечный дом» с аккумулятором тепла, состоящая из:

1. Солнечного коллектора, поглощающего солнечную энергию, в течение теплого периода года заряжающего аккумулятор, а в переходный период использующегося непосредственно для отопления.

2. Аккумулятора тепловой энергии, который в холодный период года выделяет запасенную энергию и посредством теплоносителя отдает её к потребителю.

3. Системы обогрева помещения «водяной теплый пол», это позволяет создать оптимальный микроклимат в здании за счет более низких температур в подающей линии.

В ходе работы исследована возможность применения аккумуляторов на основе обратимых термохимических реакций, например:

$Na_2SO_4 \cdot 10H_2O \rightleftharpoons Na_2SO_4 + 10H_2O$  реакция протекает с выделением тепла  $251 \text{ кДж/кг}$ , адсорбционных процессов воды или метанола в цеолите, этрингите или в созданном в 1996 году в Новосибирске «Heatsorp material», тепловой эффект которого составляет  $2000\text{--}4000 \text{ кДж/кг}$ .

УДК 621. 1

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВТОРИЧНОГО ПАРА В НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

И.И. ВАЛИТОВ, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Э.А. АХМЕТОВ

Одним из существующих видов вторичных энергетических ресурсов является вторичный пар, подразделяемый на пар вторичного вскипания и вторичный пар после производства.

Пар вторичного вскипания получается в результате вскипания перегретой воды при падении давления. Перегретая вода, поступающая из различных установок, имеет более высокое теплосодержание, чем вода находящаяся в сосуде (конденсаторосборнике). Освободившееся при этом тепло идет на образование пара вторичного вскипания.

Организация использования вторичного пара является энергоэффективным мероприятием для предприятия, которое потребляет пар различных параметров.

Утилизация теплоты отработавшего пара возможно по следующим направлениям теплоснабжение потребителей и выработка электроэнергии. В настоящее время разработано много различных схем комбинированного использования для снабжения потребителей теплотой и электроэнергией.

Если пар, отводимый из конденсаторосборника, не может быть использован из-за его низких параметров, то при помощи пароструйного компрессора можно повысить его давление.

Водяной пар вторичного вскипания целесообразно также использовать как теплоноситель паровых систем отопления низкого давления вспомогательных и бытовых помещений промышленных предприятий.

Для оценки эффективности той или иной схемы использования вторичного пара необходимо проводить технико-экономическое сравнение предложенных мероприятий.

УДК 62.1:006.354

## **ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В ЗДАНИЯХ И СООРУЖЕНИЯХ**

Д.С. ГАБДУЛЛИНА, КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. ст. преп. А.И. ФАЗУЛЛИНА

Энергосбережение зданий и сооружений – это сбережение теплоты в системах отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, включающее в себя различные устройства: вентилируемые наружные стены, вентилируемые окна, трехслойные или теплоотражающие (в

инфракрасном излучении) остекления, дополнительные утепления наружных ограждений, теплоизоляции стен за отопительным прибором, застекленные лоджии. Кроме того, для энергосбережения возможно применение воздушного отопления от гелиоустановок, а также с использованием теплонасосных установок и энергии низкого потенциала (конденсата, воды, воздуха).

В строительстве и теплоэнергетике для уменьшения тепловых потерь в окружающую среду применяют теплоизоляцию. Задача теплоизоляции зданий – снизить потери тепла в холодный период года и обеспечить относительное постоянство температуры в помещениях в течение суток при колебаниях температуры наружного воздуха. Применяя для тепловой изоляции эффективные теплоизоляционные материалы, можно существенно уменьшить толщину и снизить массу ограждающих конструкций и таким образом сократить расход основных стройматериалов (кирпича, цемента, стали и др.) и увеличить допустимые размеры сборных элементов. При преимущественном конвективном теплообмене для теплоизоляции используют ограждения, содержащие слои материала, непроницаемого для воздуха; при лучистом теплообмене – конструкции из материалов, отражающих тепловое излучение (например, из фольги, металлизированной лавсановой плёнки); при теплопроводности (основной механизм переноса тепла) – материалы с развитой пористой структурой.

УДК 536.715

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ**

**М.И. ГАЙНУТДИНОВА, КГЭУ, г. Казань**  
Науч. рук. ст. преп. А.И. ФАЗУЛЛИНА

В настоящее время традиционные энергоносители становятся все более дорогими, а использование альтернативных становится все дешевле. Поэтому сейчас уже можно говорить о перспективах их массового применения, что актуально в условиях ограниченности запасов традиционных источников и экологической ситуации. Основным преимуществом возобновляемых источников является их экологическая чистота и неограниченность. Поэтому рано или поздно система энергоснабжения всех стран будет вынуждена переходить на

возобновляемые источники: солнечная и ветровая энергия, биомассы (растения, различные виды органических отходов).

Выращенные растения (в том числе и лес) можно сжигать в качестве топлива или пускать на перегонку для получения жидких или газообразных углеводородов. Полученный биогаз может использоваться в качестве топлива в когенерационных установках. Когенерация есть комбинированное производство электрической (или механической) и тепловой энергии из одного и того же первичного источника энергии.

Произведенная механическая энергия также может использоваться для поддержания работы вспомогательного оборудования, такого как компрессоры и насосы. Тепловая энергия может использоваться как для отопления, так и для охлаждения. Биогазовая станция строится, прежде всего, возле водоочистных сооружений, на свалках коммунальных отходов или вблизи животноводческих объектов. Поскольку биогаз возникает как побочный продукт при переработке органических отходов, эксплуатация когенерационных установок, работающих на этом виде топлива, является с экономической точки зрения очень выгодной. Потенциальными объектами для применения когенерации являются промышленные производства, нефтеперерабатывающие заводы, торговые центры, административные центры, фермы, объекты жилищной сферы, общественные учреждения, бассейны, зимние стадионы, собственные нужды газоперекачивающих станций, компрессорных станций, котельных и т.д. Эффективность полезного использования топлива в когенерационных установках на сегодняшний день самая высокая в теплоэнергетике и достигает 90 %, как следствие – низкая себестоимость выработанной электроэнергии.

УДК 658.26

## **МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПЛЕКСА «ТЭЦ – НЕФЕТЕХИМИЧЕСКОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ»**

Р.Р. ГАНИЕВ, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. И.А. КОНАХИНА

Анализ эффективности энергопотребления на нефтехимических комплексах, требует привлечения методологии системных исследований в теплоэнергетике. В зависимости от поставленной задачи выбирается критерий оценки эффективности деятельности промышленных

предприятий и их подразделений на определенных уровнях иерархической структуры: элементов оборудования, аппарат, установка, цех и т.д.

На рис. 1 представлена исходная система связи предприятия и ТЭЦ, которая является основным источником его энергоснабжения.

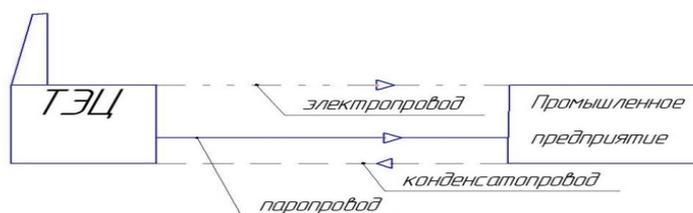


Рис.1. Комплекс «предприятие – источник»

Энергетический баланс объекта исследования, невозможно построить без материального, термодинамический анализ невозможно провести без построения энергетического. Таким образом, для проведения термодинамического анализа нужно проводить системные исследования на трех иерархических уровнях. Нижним является материальный баланс, следующим уровнем является энергетический баланс и только затем появляется возможность проводить термодинамические исследования.

В ходе разработки ресурсосберегающих технологий, чему в последнее время уделяется особое внимание, критерий оценки строится на основе расходных характеристик материального баланса сырьевых и топливно-энергетических ресурсов производственной цепочки, который представляется в виде:  $\sum_i G_i = \sum_i G_i + \sum_i G_i^{\text{воз}} + \sum_i G_i^{\text{пот}} + \sum_k G_k^{\text{доо}} + \sum_i G_i^{\circ}$ .

Энергосберегающие мероприятия требуют построения и анализа энергобаланса комплекса:  $\sum_i Q_i = \sum_i Q_i + \sum_i Q_i^{\text{пол}} + \sum_i Q_i^{\text{пот}}$ .

Оценка качественного соответствия и использования энергоресурсов и совершенствования системы требует построения эксергетического баланса:

$$\sum_i E_i^{\text{подв}} = \sum_i E_i^{\text{пол}} + \sum_i E_i^{\text{пот}}$$

УДК 536.24.083

## ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ ТЕПЛООБМЕННИКОВ С ПОРИСТЫМИ ВСТАВКАМИ

Е.И. ИВАНОВА, Р.А. НАЗИПОВ, КазНЦ РАН, г. Казань

Науч. рук. д-р техн. наук, доц. Ю.А. КИРСАНОВ

Инженерная методика теплового расчета теплообменников с пористыми вставками рассматривает последние как элементы оребрения основной стенки, разделяющей тракты холодного и горячего теплоносителей. При этом возникает вопрос: какую форму ребер рассматривать в качестве расчетной? Геометрическая модель ВПЯМ, предложенная ранее, позволяет рассматривать пористое тело в виде трехмерной структуры из проволок диаметром  $d_{ск}$  (рис. 1), которые, в свою очередь, логично рассматривать в качестве оребрения основной стенки.

Тепловая нагрузка, передаваемая от нагретого ребра к теплоносителю, по существующей методике рассчитывается по формуле

$$Q_p = F \alpha (t_{ст} - t_f) \eta_p, \quad (1)$$

где  $\eta_p = \tanh(ml) / (ml)$  – коэффициент эффективности ребра;  $m = \sqrt{\alpha u / (\lambda_w f)}$ ,  $m^{-1}$ ;  $u$  – периметр отдельного ребра, м;  $f$  – площадь поперечного сечения ребра,  $m^2$ ;  $\lambda_w$  – теплопроводность ребра, Вт/(м·К);  $l$  – длина ребра, м.

Отношения  $\bar{Q} = Q_p / Q_{оп}$ , где  $Q_{оп}$  – тепловая нагрузка, измеренная опытным путем, для трех цилиндрических образцов (одного медного и двух нихромовых) показаны на рис. 2 в зависимости от числа Био  $Bi_{d_{ск}} = \alpha d_{ск} / \lambda_w$ .

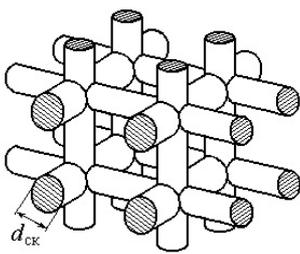


Рис. 1. Модель пористой структуры ВПЯМ

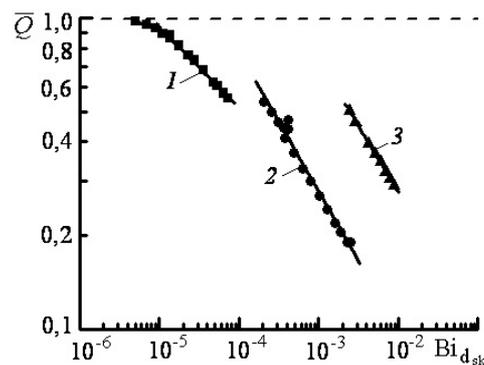


Рис.2. Относительная тепловая нагрузка 1-3 – номера образцов

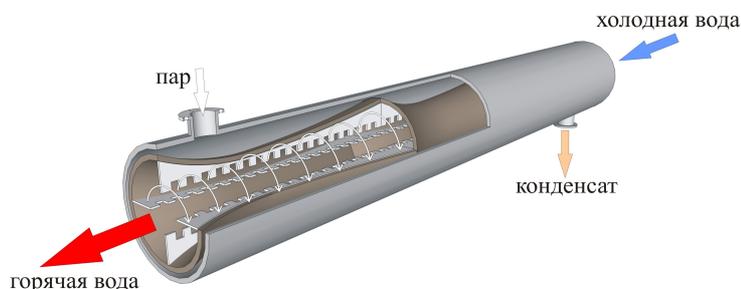
Из рис. 2 следует, что расчет тепловой нагрузки, передаваемой от пористой вставки теплоносителю, по формуле (1) дает заниженные значения, что говорит о необходимости уточнения инженерной методики теплового расчета аппаратов с пористыми вставками.

УДК 532.5.621.694

## К ТЕОРИИ РАСЧЕТА ОРЕБРЕНИЯ ВО ВРАЩАЮЩИХСЯ КОНФУЗОРНО-ДИФФУЗИОННЫХ ТРУБАХ АППАРАТА ТИПА «ТРУБА В ТРУБЕ»

А.Я. ЗОЛОТОНОСОВ, КГАСУ, г. Казань  
Науч. рук. д-р техн. наук, проф. И.А. КОНАХИНА

Одним из широко распространенных методов интенсификации процессов теплообмена считается оребрение (развитие) поверхности, реализуемое обычно со стороны меньшего коэффициента теплоотдачи.



При оребрении стремятся к выполнению условия  $\alpha_1 F_c = \alpha_2 F_{p,c}$  при этом отношение величин оребренной поверхности  $F_{p,c}$  к гладкой  $F_c$  называют коэффициентом оребрения и выбирают обычно в пределах конструктивных возможностей от 6 до 20. В инженерной практике наибольшее распространение получил метод теплового расчета оребренных поверхностей по одномерной модели, который исходит из системы уравнений баланса тепловых потоков, передаваемых через оребренную поверхность. Решения с учетом двухмерности температурного поля, строятся на уравнении Лапласа. Существенно возрастает сложность математического описания процесса переноса тепла в длинных ребрах в условиях высоких плотностей теплового потока и изменении температуры по высоте, длине ребра и потока жидкости по длине. В этом случае уравнение теплопроводности ребра в безразмерном виде запишется выражением:

$$\frac{\partial^2 t_p}{\partial \bar{r}^2} + \frac{1}{\bar{r}} \frac{\partial t_p}{\partial \bar{r}} + \frac{1}{\bar{r}^2} \frac{\partial^2 t_p}{\partial \phi^2} + \bar{R}^2 \frac{\partial^2 t_p}{\partial \bar{z}^2} - \frac{2\bar{r}\bar{R}(\bar{z} - \bar{a})}{\sqrt{\bar{R}_*^2 - (\bar{z} - \bar{a})^2}} \frac{\partial^2 t_p}{\partial \bar{r} \partial \bar{z}} + \left( \frac{\bar{r}(\bar{z} - \bar{a})}{\sqrt{\bar{R}_*^2 - (\bar{z} - \bar{a})^2}} \right)^2 \frac{\partial^2 t_p}{\partial \bar{r}^2} + \bar{r} \frac{\sqrt{\bar{R}_*^2 - (\bar{z} - \bar{a})^2} \left( 2(\bar{z} - \bar{a})^2 + \bar{R}_*^2 \right) - \bar{b}\bar{R}_*^2}{\left( \bar{R}_*^2 - (\bar{z} - \bar{a})^2 \right)^{3/2}} \frac{\partial t_p}{\partial \bar{r}} = 2Bi \delta \left( t_p - t_{ж} \right).$$

УДК 62.1:006.354

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ С ЦЕЛЮ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ ИХ РАБОТЫ

Д.С. КАРЕВ, ВлГУ, г. Владимир

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. В.М. МЕЛЬНИКОВ

Целью данной исследовательской работы является разработка методики определения оптимальных параметров энергоэффективности, надежности и устойчивости работы систем централизованного теплоснабжения (СЦТ).

В целом СЦТ характеризуется набором параметров, взаимосвязанных между собой и позволяющих осуществлять управление всей системой, прогноз изменения поведения ее составных частей в зависимости от изменения тех или иных параметров, которые можно условно поделить на регулируемые параметры и возмущающие воздействия. Регулируемые параметры – величины, являющиеся результирующими в функционировании всей системы теплоснабжения и ее составных частей. Возмущающие воздействия оказывают непосредственное влияние на регулируемые параметры. Математическое описание влияния возмущающих воздействий на регулируемые параметры позволит сформировать математическую модель СЦТ.

Математическая модель эффективности работы закрытой двухтрубной СЦТ формируется для оптимизации параметров её работы и обеспечения энергетической эффективности и надежности ее работы. Она позволяет спрогнозировать поведение системы и ее составных частей в переходные периоды, при изменяющихся параметрах наружного воздуха,

аварийных ситуациях, при осуществлении местного регулирования у потребителей. Также появляется возможность прогнозировать изменение величины технологических потерь тепловой энергии и определять количество подаваемой тепловой энергии каждому потребителю с учетом инерционности СЦТ и аккумулирующей способности систем теплоснабжения.

Для определения точности предлагаемой математической модели результаты вычислительного эксперимента сравниваются с фактическими данными, полученными в результате реализации предложенных мероприятий по повышению энергоэффективности и надежности работы СЦТ объекта. Для определения степени эффективности капитальных вложений в повышение энергоэффективности работы СЦТ производится экономическая оценка требуемых инвестиций.

УДК 532.135

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКИХ И ПРЕДКРИТИЧЕСКИХ ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ РАБОТЫ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

А.А. КАРТАШОВА, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. С.А. ЛИВШИЦ

Согласно статистическим данным, за последние 10 лет нефтехимическая и химическая промышленность значительно повысила темпы развития, огромное внимание стало уделяться и вопросам энергетики.

Подъем активности в данных направлениях обнажил многие проблемы, связанные с эксплуатацией оборудования, причем трудности вызывают не только замена и ремонт старого технического вооружения предприятий, но и ввод в работу и регулирование вновь поступивших производственных мощностей. Все эти факторы свидетельствуют о явном дефиците качественных фундаментальных исследований в данной области как практического характера, так и теоретической направленности. Недостаток достоверной информации, отсутствие стандартов, принятых в западных компаниях, приводят к тому, что лишь незначительная часть проектов доходит до финансирования и реализации. От этого страдает все химическая отрасль, рынок нефтепродуктов (нефтехимия) в частности.

Исследования в области химической кинетики и теории теплопередачи показали, что при движении вязких жидкостей по трубам и каналам возможно возникновение явления прогрессивного нарастания температуры. Это происходит в условиях, когда тепло не успевает отводиться через стенку канала. В связи с этим, в потоке жидкости возникает высокая плотность энергии, которая может привести к резкому нарастанию температуры. Условия необходимые для возникновения явления прогрессивного нарастания температуры могут происходить как благодаря диссипативному тепловыделению, так и за счет выделения энергии от химической реакции.

В этой связи наш научный коллектив акцентирует внимание на необходимости дальнейшего изучения работы оборудования в химической и теплоэнергетической отраслях с целью оптимизации его функционирования, обеспечения бесперебойности работы, а также надежности в эксплуатации.

УДК 621.4

## **ЭНЕГОСБЕРЕЖЕНИЕ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ**

И.Р. КУТЛИЕВА, КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. ст. преп. А.И. ФАЗУЛЛИНА

Развитие энергетики в настоящее время характеризуется значительно возросшей стоимостью органического топлива и других природных ресурсов, а также постоянно возрастающими трудностями охраны окружающей среды от воздействия энергоустановок, ТЭС и промышленных предприятий. Анализ работы котельных установок показывает, что в энергетике РФ использование органического топлива в ближайшей и отдаленной перспективе будет доминирующим. Поэтому проблема экономии энергетических ресурсов является актуальной задачей в области энергетики.

Из 100 % выделившейся тепловой энергии, как показывают практические исследования промышленных печей, в результате прохождения химических реакций горения большая её часть теряется. Потери тепловой энергии обусловлены в большей степени несовершенством конструкций промышленных печей. Часть тепловой энергии теряется через наружные ограждения топочной камеры промышленной печи, часть – в виде лучистой энергии, выбивающейся из открытых дверей в момент загрузки и

выгрузки деталей и т. д., а большая часть общих потерь тепловой энергии уносится с потоком уходящих продуктов сгорания. Этим обуславливается чрезвычайно низкий КПД всех промышленных печей.

Отсюда очевидно, что снижение потерь тепловой энергии только за счёт решений, направленных на отбор тепловой энергии (установка теплоутилизаторов) с дальнейшим её полезным использованием, приведет к значительной экономии топливно-энергетических ресурсов страны.

Побудительным мотивом установки теплоутилизаторов является стремление наиболее полно удовлетворить энергетические потребности не путём ввода дополнительных мощностей, а за счёт энергосбережения – использования вторичных энергетических ресурсов.

Еще одним из методов решения проблемы экономии энергетических ресурсов является повышения эффективности использования газа в котельных установках.

УДК 621.1

## **ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ НАДЕЖНОСТЬ СИСТЕМЫ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ**

Р.И. МАКСИМОВА, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. М.Ф. ШАГЕЕВ

При расчете движения газа в трубопроводах следует учитывать изменение его плотности. Это связано с тем, что давление по длине трубопроводов падает и соответственно уменьшается плотность газа. Нестационарность обуславливается как переменным режимом работы компрессорных станций, так и переменным режимом потребления газа.

Указанные факторы приводят к переменному во времени режиму давления в газопроводе и изменению количества газа, находящегося в нем. Последним определяется аккумулирующая емкость газопроводов, которая позволяет покрывать неравномерность суточного графика потребления газа.

У разветвленных сетей газ поступает к узлу потребления по одному участку, поэтому они являются тупиковыми сетями. Ввиду того, что разветвленная сеть не имеет резервирующих элементов, надежность газоснабжения определяется только надежностью элементов сети. Если у разветвленной сети будет выключен элемент из работы, тогда все потребители, которые присоединены за этим элементом, не получают газ.

Повышение надежности разветвленных сетей достигается путем их кольцевания.

Надежность кольцевой сети по сравнению с разветвленной значительно выше, так как она имеет резервирующие элементы – замыкающие участки. При отказе элемента в расчетном пути газа к потребителю возникает другой путь движения газа через резервирующий элемент. Следовательно, надежность кольцевой сети будет выше надежности элементов, из которых он состоит.

УДК-658.261.001

## **ОРГАНИЗАЦИЯ МИНИ-ТЭЦ НА БАЗЕ ПАРОВОЙ КОТЕЛЬНОЙ**

К.В. МАЛЫШЕВ, ИГЭУ, г. Иваново

Науч. рук. канд. техн. наук, проф. В.И. СУББОТИН

На сегодняшний день промышленные предприятия нередко сталкиваются с проблемой невостребованности имеющихся мощностей: как производственных, так и энергетических. С аналогичной ситуацией столкнулось и одно из предприятий северного региона страны. Невостребованными оказались мощности паровой котельной на базе трех котлоагрегатов ДКВР-10-13ГМ. Был произведен технико-экономический расчет целесообразности реконструкции котельной в мини-ТЭЦ путем установки паровой турбины мощностью 1,25 МВт, что позволило бы полностью использовать существующий потенциал оборудования котельной. Однако на этапе экономического обоснования выявился ряд существенных недостатков такого подхода, в силу которых себестоимость генерируемой электроэнергии находится на уровне существующих тарифов.

Оценим возможность организации мини-ТЭЦ на базе других первичных двигателей. Рассмотрим два наиболее подходящих из них.

Газотурбинные двигатели – тип тепловых двигателей, в которых энергия сжатого и нагретого газа преобразуется в механическую работу на валу газовой турбины. Однако такие мини-ТЭЦ наиболее оправданы при эксплуатационных мощностях свыше 6 МВт и преимущественной выработке тепловой энергии при постоянной нагрузке, близкой к номинальной.

Газопоршневые двигатели. Приводом электрического генератора является поршневой двигатель внутреннего сгорания, использующий в

качестве топлива природный газ, либо ряд других, как естественных, так и искусственных, газов. Тепловая энергия в виде горячей воды с температурой до 100 °С отбирается с помощью теплообменных аппаратов из контура охлаждения двигателя и выхлопных газов. В силу ряда принципиальных преимуществ двигателей данного типа с экономической точки зрения их применение в данном случае наиболее целесообразно. Исходя из расчетных условий к установке можно рекомендовать агрегаты Caterpillar G3516B LE, CUMMINS QSK60G, Генерация 1020ГПЭС-К и 1160ГПЭС-К и другие, отвечающие необходимым требованиям. Срок окупаемости инвестиций в расчетных условиях в зависимости от выбранного агрегата составляет около 3 лет. При необходимости возможна установка комплекса из нескольких агрегатов.

УДК 621.311.001

## **РАЗРАБОТКА СТЕНДА ПО ИЗУЧЕНИЮ РАБОТЫ ХОЛОДИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ**

Е.В. МАРЬЯНОВА, Д.А. ЛАПАТЕЕВ, ИГЭУ, г. Иваново  
Науч. рук. ст. преп. Н.Н. СМИРНОВ;  
канд. техн. наук, доц. В.М. ЗАХАРОВ

Современные предприятия пищевой, машиностроительной, медицинской и легкой промышленности трудно представить без холодильных установок. Также специалисту-энергетику приходится решать вопросы холодоснабжения для обеспечения микроклимата внутри общественно-административных (торговые центры, офисные центры, лечебные учреждения, культурные заведения и т.д.) и производственных зданий.

Для изучения процессов, происходящих в холодильных установках, в реконструируемой лаборатории «Тепломассообменное оборудование промышленных предприятий» кафедры «Промышленная теплоэнергетика» ИГЭУ авторами в 2010 году создан лабораторный стенд по изучению работы холодильной машины.

В ходе выполнения лабораторной работы на данном стенде студенты, обучающиеся по направлению «Теплоэнергетика», смогут решить следующие **задачи**: построить холодильный цикл в диаграммах; составить тепловые балансы теплообменного оборудования; определить коэффициент теплопередачи конденсатора и испарителя; вывести

аналитические зависимости для некоторых измеренных величин; исследовать работу вентиляторов в установке с построением профиля скоростей; научиться дистанционно управлять работой измерительной и регулирующей аппаратуры через ЛВС.

Возможность сочетания теоретических и практических навыков с целью освоения курса «Холодоснабжение».

На данном стенде измеряемые величины через прибор ИРТ-4 выводятся на большой экран. Происходит отображение графиков изменения температур по 8 точкам измерения, графика изменения потребляемой электрической мощности, скорости воздушного потока на большом дисплее. Осуществлено дистанционное управление работой холодильной установки через регулятор ИРТ-4 с компьютера, а через локальную вычислительную сеть управление из другой аудитории. С помощью графических редакторов реализовано оперативное построение и отображение холодильного цикла в номограммах на дисплее.

УДК 621.1

## **СИСТЕМЫ ПАРΟΣНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Л.А. МИНШИН, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Э.А. АХМЕТОВ

Теплоснабжение промышленных предприятий осуществляется централизованным путем от ТЭЦ отопительно-промышленных котельных различной мощности.

Режимы теплоснабжения современных промышленных предприятий неодинаковы в течение суток и года, поэтому их целесообразно разделить на три группы.

Первая группа: а) число часов использования максимума тепловой нагрузки в году  $n = 4000-4700$  ч/год; б) отношение среднесуточной нагрузки к максимальной суточной за год  $K = 0,57-0,68$ .

Вторая группа: а)  $n = 5000-6000$  ч/год; б)  $K = 0,6-0,76$ .

Третья группа: а)  $n = 6000$  ч/год; б)  $K = 0,76$ .

Системы пароснабжения промышленных предприятий представляют собой комплекс установок, обеспечивающих производство, транспорт и потребление пара, поэтому их можно классифицировать следующим образом:

- 1) по источнику пароснабжения (ТЭЦ, центральные или местные котельные);
- 2) по объему потребления пара (малое – до 6 кг/с, среднее 6 – 20 кг/с, большое – более 20 кг/с);
- 3) по виду пара (перегретый, влажный насыщенный, параллельное использование перегретого и влажного),
- 4) по давлению пара на входе в паровую сеть (низкое – до 0,3 МПа, среднее – от 0,3 до 0,9 МПа, повышенное – от 0,9 до 1,5 МПа и высокое – более 1,5 МПа);
- 5) по сложности шаровой сети (большая и малая протяженности, разветвленность);
- 6) по сбору конденсата (закрытые и открытые);
- 7) по регулированию (местное ручное и автоматическое);
- 8) по потреблению (преобладание технологическое или санитарно-технического потребления);
- 9) по характеру потребления.

УДК 621.1

## **ТЕПЛОВЫЕ НАСОСЫ**

Э.М. МУЛЛАНУРОВА, Л.Р. ШАКИРОВА, Р.В. АХМЕТОВА,  
КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Э.А. АХМЕТОВ

Ранее тепловой насос использовался в первую очередь для кондиционирования (охлаждения) воздуха. Система была способна также обеспечить определенную отопительную мощность, в большей или меньшей степени удовлетворяющую потребности в тепле в зимний период. Однако характеристики этого оборудования стремительно меняются: сейчас во многих странах Европы тепловые насосы используются в отоплении и ГВС.

Тепловой насос предназначен для использования энергии, получаемой от источника тепла низкой температуры. Тепловые, энергетические и экономические характеристики тепловых насосов тесно взаимосвязаны с характеристиками источников, из которых насосы берут тепло. Идеальный источник тепла должен давать стабильную высокую температуру в течение отопительного сезона, не быть коррозионным и загрязняющим, иметь благоприятные теплофизические характеристики, не

требовать существенных инвестиций и расходов по обслуживанию. В большинстве случаев имеющийся источник тепла является ключевым фактором, определяющим эксплуатационные характеристики теплового насоса.

Преимуществом тепловых насосов является возможность переключения с режима отопления зимой на режим кондиционирования летом. В процессе эксплуатации система не нуждается в специальном обслуживании, возможные манипуляции не требуют особых навыков и описаны в инструкции. Недостатком теплового насоса является обратная зависимость его эффективности от перепада температур между источником теплоты и потребителем. Это приводит к тому, что для обеспечения заданного температурного режима потребителя при низких температурах воздуха необходимо использовать оборудование со значительной избыточной мощностью, что сопряжено с нерациональным использованием капиталовложений. Решением этой проблемы является применение так называемой амбивалентной схемы отопления, при которой основную (базовую) нагрузку несет тепловой насос, а пиковые нагрузки покрываются вспомогательным источником (газовый или электродкотел).

УДК 621.557:621.43

## **ТЕПЛОЙ НАСОС С ПРИВОДОМ ОТ ГАЗОПОРШНЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ**

И.З. НАСЫБУЛЛИН, КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. д-р техн. наук, проф. И.А. КОНАХИНА

Рассматривается отопление здания с помощью теплового насоса с приводом компрессора от газопоршневого двигателя.

Такое решение целесообразно использовать в качестве автономного источника теплоснабжения с рациональным использованием топливных ресурсов.

Система состоит из следующих элементов:

1. Грунтовый коллектор, собирает низкопотенциальное тепло грунта и нагревает водный раствор этиленгликоля от 0 до 10 °С.

2. Тепловой насос с промежуточным перегревом и открытым компрессором, где хладагент R600a кипит при центробежной температуре  $t_0 = 0$  °С и конденсируется при  $t_K = 65$  °С. Также предусматривается

теплообменник на линии всасывания для охлаждения наддувочного воздуха.

3. Второй контур, где теплоноситель (тосол) нагревается в конденсаторе ТНУ до 60 °С, затем поступает в систему охлаждения ДВС и в теплообменник дымовых газов, в конце поступает в бак-аккумулятор с температурой 80–90 °С.

4. ДВС – компрессорный газопоршневой двигатель с наддувом и промежуточным охлаждением, работающий на природном газе и приводящий в движение циркуляционные насосы, компрессор ТНУ. (Tedom TG 132 GV TW 86, мощность  $N = 132$  кВт, расход газа при 100 % нагрузке 35,7 м<sup>3</sup>/ч).

В ходе работы была рассчитана система теплоснабжения с нагрузкой  $Q = 600$  кВт с тепловым насосом (коэффициент преобразования  $\phi = 3,55$ ).

Таким образом, данная система позволяет покрывать тепловую нагрузку с экономией топлива на 45 % (прямое сжигание расход газа 79,4 м<sup>3</sup>/ч).

УДК 621. 1

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРИГЕНЕРАЦИОННЫХ УСТАНОВОК В СИСТЕМАХ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ**

А.В. ОФИЦЕРОВ, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Э.А. АХМЕТОВ

Тригенерация – это комбинированное производство электричества, тепла и холода. Холод вырабатывается абсорбционной холодильной машиной, потребляющей не электрическую, а тепловую энергию. Тригенерация является выгодной, поскольку дает возможность эффективно использовать утилизированное тепло не только зимой для отопления, но и летом для кондиционирования помещений или для технологических нужд. Такой подход позволяет использовать генерирующую установку круглый год.

В качестве примера можно рассмотреть строительство торгового центра, общей площадью 95 000 м<sup>2</sup>, с применением когенерационных установок. Энергоснабжение торгового комплекса осуществляют четыре газопоршневых двигателя с электрической мощностью 1,5 МВт и тепловой мощностью 1,8 МВт. Газопоршневые установки работают на природном

газе. Теплоносителем является вода, нагретая до 110 °С. Горячая вода используется как непосредственно для отопления, так и для подогрева поступающего извне воздуха. Газопоршневые двигатели снабжены глушителями и нейтрализаторами CO<sup>2</sup>. В теплое время года тепло, производимое когенераторной установкой может быть утилизировано абсорбционной холодильной машиной для охлаждения воздуха в помещениях. Таким образом, когенерационная установка производит, в зависимости от времени года, тепло или холод, поддерживая температуру в помещениях постоянной. Это особенно важно для хранения мебели.

Тригенерацию обеспечивают две бромистолитиевые абсорбционные холодильные машины, мощностью 1,5 МВт каждая. Особенностью абсорбционной холодильной установки является использование для сжатия паров хладагента не механического, а термохимического компрессора. В качестве рабочего тела абсорбционных установок используется раствор двух рабочих тел, в котором одно рабочее тело – *хладагент*, а другое – *абсорбент*. Стоимость потребленного установками топлива в несколько раз меньше стоимости покупки тепла и электроэнергии у монопольной государственной компании. Кроме того, стоимость подключения к городским сетям во многих случаях сравнима со стоимостью самих установок.

УДК 62.1:006.354

## **К ВОПРОСУ О МОДЕЛИРОВАНИИ СИСТЕМ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**

А.А. РОЖКОВ, ВлГУ, г. Владимир

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. В.М. МЕЛЬНИКОВ

Поддержание определенных, наперед заданных метеорологических условий в закрытых помещениях – основная задача отопительно-вентиляционных систем и система центрального теплоснабжения (СЦТ). Основным регулируемым параметром для систем отопления является температура внутреннего воздуха в помещении <sup>4</sup>, который характеризуется набором характеристик, взаимосвязанных между собой и позволяющих рассчитывать, прогнозировать и управлять всей системой. Такие характеристики можно условно поделить на регулируемые параметры и возмущающие воздействия. Регулируемыми параметрами можно считать величины, являющиеся результирующими в

функционировании всей системы теплоснабжения. Возмущающие воздействия – величины, оказывающие непосредственное влияние на регулируемые параметры.

Регулируемыми параметрами для систем теплоснабжения является величина гидродинамического давления в различных точках тепловой сети  $\Delta P_i$ , расход теплоты  $Q$ , определяемый температурами  $\Delta T$  и расходом теплоносителя  $G$ .

Из существенных возмущающих воздействий можно выделить температуру наружного воздуха  $t_a$ , протяженность распределительной сети теплоснабжения  $l$ , диаметры участков трубопроводов  $d$ , относительная шероховатость внутренней поверхности трубопроводов  $\epsilon$ , теплопотери по длине трубопроводов  $Q_{\text{дл}}$ , коэффициент теплопередачи ограждающих конструкций  $k_{\text{ок}}$ , тепловыделения в отапливаемом помещении  $Q_{\text{вн}}$ , температурный график  $\Delta T_i$ , располагаемый напор на источнике, участках тепловой сети и у абонента  $\Delta P_i$ , а так же геометрические отметки элементов сети  $H_{\text{геом}}$ , нагрузка горячего водоснабжения и вентиляции  $G_{\text{гвс+в}}$ ;

Целевая функция вида  $U_i = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$  может являться моделью для оптимизации системы теплоснабжения. Описание и решение данной математической модели позволяет имитировать поведение СЦТ в процедурах планирования и оперативного управления. При этом одинаково важно рассмотрение как стационарных, так и нестационарных режимов.

УДК 658.26

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВТОРИЧНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ В ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

А.Р. САЙФУТДИНОВА, КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. ст. преп. А.И. ФАЗУЛЛИНА

Предприятия пищевой промышленности являются крупными потребителями топливно-энергетических ресурсов (ТЭР). Поэтому проблема экономии тепловой и электрической энергии в пищевой промышленности стоит очень остро. Наиболее энергоемкими являются производства: сахарное, масложировое, спиртовое, овощесушильное и др.

Использование теплоты продуктов сгорания природного газа рассмотрим на примере хлебопекарного производства. В среднем для

выпечки 1 т хлеба необходимо 50–65 кг условного топлива. Из этого количества топлива полезно используется только 30–32 %. С продуктами сгорания в атмосферу уносится от 30 % до 60 % всей теплоты. Температура отходящих запечных газов в печах с нагревательными трубами – от 500 до 700 °С, хотя температурный напор от газов к пекарной камере обеспечивается при температуре продуктов сгорания 350 °С.

В то же время наряду с большими тепловыми потерями хлебопекарному производству требуется большое количество горячей воды на технологические и санитарно-технические нужды. Таким образом, использование теплоты отходящих газов хлебопекарных печей с нагревательными трубами следует считать недостаточным.

Теплоту уходящих газов можно использовать для нагрева воздуха перед подачей его в топку печи, что наряду с экономией топлива улучшает условия горения. Повышение температуры подогреваемого воздуха на 1 °С вызывает такое же понижение температуры дымовых газов.

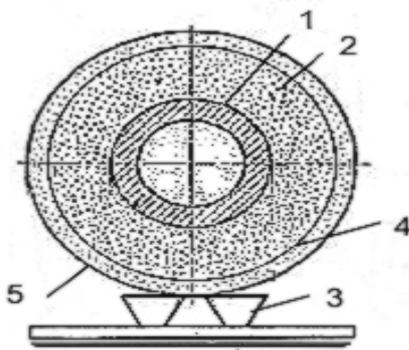
УДК 699.86

## ТЕПЛОВАЯ ИЗОЛЯЦИЯ ТРУБОПРОВОДОВ

И.Ф. САЛАВАТУЛЛИН, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. ст. преп. А.И. ФАЗУЛЛИНА

Любая система отопления, канализации, водоснабжения и газопровода или других специализированных коммуникаций как коммунального, так и промышленного назначения – это километры трубопроводов. Конденсат, перепады температуры, ржавчина и коррозия разрушают эти трубы, нарушая системы снабжения, что приводит не только к дополнительным тратам по восстановлению нарушенных коммуникаций, но и часто нарушает климат помещения, в котором расположен трубопровод. Продлить срок службы трубопровода помогает его изоляция.



покровного защитного слоя.

Все теплоизоляционные покрытия (рис.1) состоят из основного теплоизоляционного слоя (простого или композиционного), деталей крепления и

На сегодняшний день на Российском рынке представлено довольно много утеплителей для трубопроводов, они производятся в виде матов,

Рис. 1 Элементы теплоизоляции трубопровода:

- 1 – трубопровод,
- 2 – теплоизоляционный слой,
- 3 – крепежные детали,
- 4 – пароизоляция,
- 5 – покровный слой

трубок, сегментов, цилиндров и полуцилиндров, рулонная изоляция, в виде мастик и красок, в виде услуги по напылению теплоизоляции.

УДК 620.9

## **ЭКОНОМИЯ В СИСТЕМЕ ОТОПЛЕНИЯ НА БАЗЕ ТЕПЛОВОГО НАСОСА**

П.А. ТЮКУЛЬМИН, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. О.П. ШИНКЕВИЧ

Низкопотенциальная энергетика представляет собой новое научно-техническое направление, которое стало широко развиваться в последние 20 лет. Оно связано с проблемами экономии топливно-энергетических ресурсов и защиты окружающей среды от теплового загрязнения и базируется преимущественно на использовании для получения холода, теплоты и электроэнергии нетрадиционных источников тепловых ресурсов. Рассмотрим систему отопления цеха машиностроительного завода с использованием тепловых насосов ЗАО «Энергия» с тепловой мощностью 300 кВт.

Система отопления цеха машиностроительного завода на базе теплового насоса (ТН) НТ-300 в холодный период года является экономически выгодным по сравнению с тепловой энергией, подаваемой от котельной. В качестве низкопотенциального источника (НПИ) теплоты для ТН используется вода, нагретая воздухом из вытяжной системы вентиляции при помощи теплообменника «воздух-жидкость». В результате расчета теплового и влажностного баланса получили максимальную температуру уходящего тепла, равная  $t = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ . При расчете теплообменника получили температуру нагреваемой воды НПИ, которая составила  $t = 16\text{ }^{\circ}\text{C}$ , и которая даёт температуру на выходе из теплового насоса в систему отопления  $t = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ , при температуре кипения хладагента  $t = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Теплонасосная система состоит из четырех тепловых

насосов НТ-300, коэффициент преобразования при этом составляет  $\varphi = 4,45$ . Себестоимость тепловой энергии ТНС при этом составит 869,86 руб/Гкал при стоимости электрической энергии для привода компрессора, руб/кВт·ч – 3,2.

Таким образом, выработка тепла четырьмя тепловыми насосами использующие ВЭР в качестве низкопотенциального источника является прибыльным, теплонаносное тепло будет дешевле – 869,86 руб/1 Гкал против 1060,2 руб/1 Гкал (тариф на 2010 год) тепловой энергии подаваемой из котельной. В настоящее время с определенностью установлено, что отопление при помощи тепловых насосов не выдерживает конкуренции с отоплением от ТЭЦ. С другой стороны, отопление электронагревательными приборами неконкурентоспособно по сравнению с теплонаносным отоплением. Поэтому наиболее возможным направлением эффективного использования тепловых насосов является замена ими систем отопления на базе котельных.

УДК 658.264

## **ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ТЕПЛОВОЙ СЕТИ ОТ НЕСКОЛЬКИХ ИСТОЧНИКОВ**

А.И. УСМАНОВ, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. С.А. ЛИВШИЦ

Моделирование гидравлических сетей является важной задачей в процессе наладки сложных трубопроводов, а также при управлении существующими гидравлическими системами. Модели, описывающие такие сети с большим количеством участков, представляют собой системы нелинейных уравнений большой размерности. В силу возрастающей сложности реальных объектов постоянно требуется совершенствование старых и разработка новых методов их моделирования и расчета. Еще более актуальной данная задача становится в рамках перехода от задач эффективного управления (поскольку огромное количество гидравлических сетей уже построено и эксплуатируется) к задачам проектирования трубопроводных систем (для создания новых высокоэффективных гидравлических сетей). При этом на первый план выходят более сложные задачи эффективного управления существующими трубопроводными сетями. При проектировании гидравлических сетей населенного пункта или промышленного предприятия, необходимо

учитывать, что все потребители должны обеспечиваться водой в заданном количестве и с требуемым напором.

Расчет тепловых сетей, имеющих сложную структуру, возможен с использованием графо-аналитического метода (точки ветвления можно определить как узловые точки, т.е. вершины графа, а элементы теплосети (куски теплопровода) как ребра графа). Такое представление позволит использовать имеющийся наработанный математический аппарат для решения прикладных теплоэнергетических задач. Каждому ребру построенного графа можно присвоить вес характеризующий долевым коэффициент или другими словами пропускную способность участка. На основании предлагаемого метода становится возможным производить гидравлический расчет теплопроводов со сложной структурой для определения надежности существующих систем и при проектировании новых с заданными надежностными параметрами.

УДК 621.18:620.9

## **АЛГОРИТМ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ В ЗАДАЧАХ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ЭНЕРГОКОМПЛЕКСА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ КОТЕЛЬНЫХ**

Н.Н. ФАХРЕЕВ, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. И.А. КОНАХИНА

Работа котельных установок крупных теплогенерирующих предприятий сопряжена с выходом вторичных энергоресурсов в виде дымовых газов и горячих сточных вод. Многие авторы сходятся во мнении, что в исследовании эффективности энергоиспользования котельных установок (КУ) особый интерес представляют решения, направленные на вовлечение вторичных энергоресурсов (ВЭР) в систему энергообеспечения промышленных предприятий и КУ в частности. Однако здесь возникает проблема выбора наилучшего варианта организации утилизационной системы, так как все известные разработки в этой области ориентированы на один и тот же диапазон параметров.

Инструментом поиска и выбора перспективных решений по утилизации ВЭР и перехода на безотходное производство КУ является сложившаяся к настоящему времени методология анализа и синтеза промышленных систем, основными этапами которой являются:

1. Структурный анализ, упрощающий задачу по исследованию и описанию комплекса.

2. Анализ эффективности использования объекта по материальным, энергетическим и эксергетическим балансам.

3. Математическая модель с описанием наилучших путей экономии энергоресурсов.

Итогом проведения аналитического исследования основных узлов КУ в рамках цели и задач выполняемой работы на основе балансовых уравнений предстоит показать, что эффективная работа производственных котельных связана с изменением нагрузок и выбор наилучших параметров основного оборудования, в том числе организация утилизации ВЭР, может дать существенный энергосберегающий, технико-экономический эффект.

УДК 697.92

## **СИСТЕМА ВЕНТИЛЯЦИИ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ**

А.М. ХАБИБУЛЛИНА, И.Ш. УСМАНОВА, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. М.Ф. ШАГЕЕВ

Кондиционирование воздуха – это создание и автоматическое поддержание в закрытых помещениях всех или отдельных его параметров (температуры, влажности, чистоты, скорости движения воздуха) на определенном уровне с целью обеспечения оптимальных метеорологических условий, наиболее благоприятных для самочувствия людей или ведения технологического процесса.

Кондиционирование воздуха осуществляется комплексом технических средств, называемые системой кондиционирования воздуха (СКВ).

Современные системы кондиционирования могут быть классифицированы по следующим признакам: по основному назначению (комфортные СКВ, технологические СКВ); по принципу расположения кондиционера по отношению к обслуживаемому помещению (центральные СКВ, местные СКВ); по наличию собственного источника тепла и холода (автономные СКВ, неавтономные СКВ); по количеству обслуживаемых помещений (однозональные центральные СКВ, многозональные центральные СКВ); по принципу действия (прямоточные СКВ, рециркуляционные СКВ); по способу регулирования выходных

параметров кондиционированного воздуха (СКВ с качественным регулированием, СКВ с количественным регулированием); по степени обеспечения метеорологических условий в обслуживаемом помещении (первый класс, второй класс, третий класс); по давлению, развиваемому вентиляторами кондиционеров (системы низкого давления, системы среднего давления, системы высокого давления).

Поддержание параметров внутреннего воздуха на требуемом уровне, удаление из помещения загрязненного воздуха и подача чистого воздуха – основные задачи вентиляции.

Системы вентиляции можно классифицировать по ряду признаков: по назначению (приточные системы, вытяжные системы), по сфере действия местные системы вентиляции, по способу перемещения воздуха (системы естественной вентиляции, системы механической вентиляции); по конструктивным особенностям (система вентиляции имеет разветвленную сеть каналов для перемещения воздуха, либо каналы отсутствуют, вытяжные системы).

Системы кондиционирования и вентиляции также можно рассматривать и изучать как гидравлические цепи, так как их элементы осуществляют передачу, смешение и распределение воздушных потоков.

УДК 622.32

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭКСЕРГЕТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА**

Э.М. ХАЙРИЕВА, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. М.Ф. ШАГЕЕВ

В последнее время широкое распространение получил эксергетический метод оценки эффективности технологических процессов, основанный на использовании второго закона термодинамики. Использование данного метода позволяет определить относительное влияние на эффективность процесса различных стадий расхода энергии, выявить элементы с наибольшими потерями энергии. В работах рассматривается общая методика применения эксергетического метода термодинамического анализа для исследования и оптимизации теплотехнических схем.

Методика расчета величины эксергии для различных видов теплоносителей изложена, в частности, авторами рассматриваются методы

расчета эксергии в потоке, эксергии топлива, эксергии дымовых газов, эксергии водяного пара и воды, а также эксергии влажного воздуха.

В данной работе проведен термодинамический анализ резервуарного парка для наземного металлического вертикального цилиндрического резервуара со сферической кровлей объемом  $V = 10\,000\text{ м}^3$ . Процесс подогрева мазута в резервуаре выполняется с помощью статических подогревателей.

Был осуществлен выбор параметров окружающей среды и определение вспомогательных расчетных величин. При температурах воздуха  $t_{\text{возд}} = 19\text{ °С}$  и  $t_{\text{возд}} = -32\text{ °С}$ , давлении окружающей среды для зимнего периода работы были выявлены следующие различия при расчетах:

Температура воздуха	Количество подводимой эксергии, $\Sigma E'$ Дж·10 <sup>9</sup>	Количество отводимой эксергии, $\Sigma E''$ Дж·10 <sup>9</sup>	Эксергетический коэффициент полезного действия, $\eta_e$
$t_{\text{возд}} = -32\text{ °С}$	578,64	526,95	0,91
$t_{\text{возд}} = 19\text{ °С}$	326,44	291,80	0,894

Эксергетический метод термодинамического анализа получил в последнее время широкое распространение при анализе совершенства теплотехнологических схем различной степени сложности.

УДК 532.5.621.694

## **К ВОПРОСУ ТЕЧЕНИЯ АНОМАЛЬНО-ВЯЗКОЙ СРЕДЫ ВО ВРАЩАЮЩЕМСЯ ОВАЛЬНОМ КАНАЛЕ «КОНФУЗОР-ДИФФУЗОР»**

М.Р. ХАЙРУЛЛИН, КФУ, г. Казань

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. Я.Д. ЗОЛОТОНОСОВ

Вопросам исследования течения вязкой (ньютоновской) жидкости во вращающихся круглых каналах посвящено значительное число работ. Однако в настоящее время в литературе отсутствуют исследования, касающиеся процессов течения аномально-вязкой жидкости во вращающихся каналах типа «конфузор-диффузор» овального сечения (рис.1). Структура потока при течении аномально-вязкой среды во

вращающихся вокруг своей оси трубах, имеет ряд специфических особенностей.

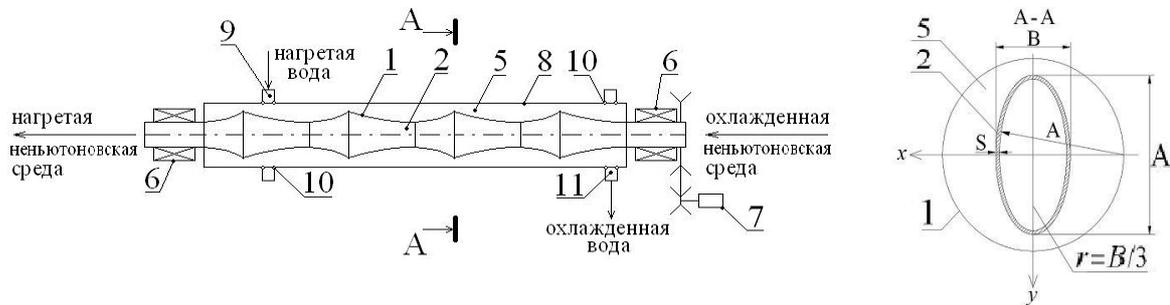


Рис.1. Аппарат для проведения процесса теплообмена с овальным конфузорно-диффузорным каналом

Так поток anomalно-вязкой среды во вращающейся круглой трубе, в связи с высокой консистенцией, вращается вместе с трубой по закону твердого тела. В этом случае циркуляция жидкости в ее поперечном сечении «подавляется», а процесс теплообмена от стенки к жидкости и далее в ядро потока осуществляется в основном теплопроводностью. В связи с этим нами для интенсификации теплообмена в канале предложено проточную часть конфузорно-диффузорной трубы выполнить в форме овала, что при вращении создает градиент центробежного давления на осях овала, поддерживая вихревую структуру течения и интенсифицируя теплообмен. Последующая разработка математической модели сопряженного теплообмена во вращающемся конфузорно-диффузорном канале овального сечения и ее численная реализация позволит определить значения параметров скоростей и давлений в проточной части канала и наметить основные направления в разработке инженерных методов расчета теплообменного оборудования для нагрева неньютоновских сред.

УДК 621.4

## ЭКСЕРГЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ

Р.Р. ХАМЕТОВА, КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. канд. техн. наук, доц. М.Ф. ШАГЕЕВ

Второй закон термодинамики, устанавливающий направление самопроизвольных процессов и границы их совершения, позволяет

установить максимально возможную полезную работу, которую может дать система тел, находящаяся в неравновесном состоянии.

Очевидно, что одно тело, какой бы энергией оно ни обладало, не может произвести полезной работы. Чтобы получить такую работу, надо иметь, по меньшей мере, еще одно тело, температура, давление или химический потенциал которого были бы меньше, чем у первого тела, т.е. нужно обязательно иметь систему тел, находящуюся в неравновесном состоянии.

Полезную работу можно также получить с помощью теплового двигателя, если имеется какой-то источник тепла (горячее тело) с температурой более высокой, чем температура окружающей среды или иного холодного источника.

С середины 20-го века получил распространение эксергетический метод оценки эффективности технологических процессов, основанный на использовании второго закона термодинамики. Использование данного метода позволяет определить относительное влияние на эффективность процесса различных стадий расхода энергии, выявить элементы с наибольшими потерями энергии.

При оценке эффективности теплотехнологических схем и установок с использованием эксергетического метода термодинамического анализа основным показателем степени термодинамического совершенства является эксергетический коэффициент полезного действия (КПД)  $\eta_{ex}$ . Расчет эксергетического КПД по его абсолютной величине позволяет определить степень термодинамического совершенства процесса. Кроме того, значение  $\eta_{ex}$  указывает на целесообразность поиска способов снижения энергетических затрат, на поиск наилучшего в данных условиях метода (с точки зрения энергетики) улучшения показателей эффективности теплотехнологической схемы.

Эксергетический метод термодинамического анализа получил в последнее время широкое распространение при анализе совершенства теплотехнологических схем различной степени сложности.

УДК 621. 1

## **ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ОБЕССОЛЕННОЙ ВОДЫ**

М.Р. ХАСАНОВ, КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.М. КОНАХИН

Многие отрасли промышленности нуждаются в производстве воды очень высокого качества для технологических целей. Содержание солей в такой воде должно быть в десятки раз меньше, чем в исходной природной воде. При этом, исходная вода используется в очень больших количествах, и как следствие, образуется значительное количество сильно загрязненных производственных сточных вод, которые после биологической очистки сбрасываются в открытые водоемы. Извлечение солей и железа требует значительных затрат. При используемых в настоящее время технологиях это не всегда экономически целесообразно, а технологии химического обессоливания, применяемые сегодня, ведут к еще большей минерализации водоемов.

В настоящее время в России производство обессоленной воды осуществляется, преимущественно, химическим обессоливанием. Технология дорогостоящая, требует большого количества работающего персонала, морально устарела, наносит экологический ущерб природе из-за необходимости использования большого количества реагентов, которые с отработанными регенерационными растворами сбрасываются в водоемы.

При химическом обессоливании, при извлечении из воды 1 кг солей, требуется до 2–3 кг реагентов, следовательно, в водоем сбрасывается в 3–4 раза больше солей, чем извлекается, что повышает минерализацию водоемов и приводит их к деградации.

Одним из перспективных способов получения обессоленной воды считаются установки обратного осмоса (ОО). Однако срок службы мембран 4–5 лет, после чего их необходимо менять, что составляет 50–70 % стоимости самой установки обратного осмоса. Данные факторы также необходимо учитывать при расчёте эффективности вложений. Чем качественнее получаемая вода (меньшее солесодержание), тем дороже обратный осмос, так как необходимо ставить дополнительные ступени, а это ведёт к удорожанию ОО, не менее чем в 1,5–2 раза.

В последние годы более широко стали использоваться процессы термообессоливания взамен химического. Наиболее перспективными для проведения таких процессов являются аппараты мгновенного вскипания, принцип действия которых заключается в генерации пара, осуществляемой в условиях вакуума в свободном объеме.

УДК 621.4

## **В ТЕПЛОСНАБЖАЮЩИХ СИСТЕМАХ**

А.А. ХАСАНШИНА, КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. канд. техн. наук, доц. М.Ф. ШАГЕЕВ

Теплоснабжающие системы характеризуются многовариантностью, многопараметричностью и чрезвычайной сложностью. В связи с этим определение оптимальных режимов трубопроводных систем требует применения специальных математических методов и вычислительной техники.

Исследования в области идентифицируемости и управляемости трубопроводных систем (ТПС) проводятся на базе активно развивающегося в последнее время научного направления – теории гидравлических цепей. Развиваются имитационные модели и методы расчета динамики теплогидравлических режимов. Современный уровень развития компьютерных технологий и программного обеспечения позволяет достаточно быстро осуществлять математические расчеты и предоставлять результаты моделирования, как в табличных, так и в графических видах.

При таком имитационном моделировании ТПС инструментом является гидравлический расчет. С его помощью можно ответить на вопрос, что произойдет с гидравлическим режимом при тех или иных штатных или аварийных воздействиях на сеть, а также при различных условиях водопотребления в силу суточной или нерегулярной неравномерности.

Таким образом, модель позволяет достаточно точно прогнозировать режим работы моделируемой сети при имеющихся исходных данных. Появляется возможность провести теоретический анализ работы моделируемой сети, выявить ее недостатки или преимущества, увидеть реакцию сети на изменения режима. Получив такие данные на этапе проектирования, можно легко найти наиболее оптимальное, технически обоснованное решение, а это несет в себе и немалый экономический эффект.

УДК 66.047

## **КОГЕНЕРАЦИЯ**

М.Т. ХУЗЯХМЕТОВА, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А. М. КОНАХИН

Для промышленности характерно то, что электрическая и тепловая энергия потребляются одновременно. Электроэнергию получают от сетей энергоснабжающих компаний, а тепловая энергия производится собственными котельными. Проведенный анализ удельных расходов энергоресурсов на производство продукции и оказываемые услуги позволил сделать вывод о недостаточной эффективности использования ТЭР на предприятии.

В настоящее время самой эффективной технологией производства электрической и тепловой энергии из органического топлива является когенерация и тригенерация.

Когенерационные установки на базе газопоршневых двигателей имеют наивысшую на сегодняшний день эффективность преобразования энергии топлива в электричество.

Направления энергообеспечения предприятий:

- использование когенерационных технологий для собственной комбинированной выработки дешевой электроэнергии и тепловой энергии при сжигании природного газа с максимальной эффективностью в когенерационных установках;

- применение технологий тригенерации с выработкой электроэнергии и тепловой энергии и преобразовании последней в холодоноситель для использования в технологических производственных процессах предприятия;

- использование тепла выхлопных газов газопоршневого двигателя в процессах сушки.

Цеха сушки потребляют в среднем 60 % всего пара, вырабатываемого котельной, причем давление пара требуется 11–12 кгс/см<sup>2</sup>. Как правило, цеха сушки находятся на значительном расстоянии от котельных, а на многих предприятиях неудовлетворительное состояние изоляции паропроводов, что приводит к потерям. Оснащение цехов сушки когенерационными установками позволит существенно разгрузить существующие котельные. В качестве сушильного агента применяется воздух. Его нагрев может быть произведен путем подачи воздуха в сушильную камеру через воздухоподогреватель за счет утилизации тепла отходящих продуктов сгорания.

УДК 621.311.22

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДЕРНИЗАЦИИ ПОДОГРЕВАТЕЛЯ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

С.А. ЧАЩИНА, ТПУ, г. Томск

Науч. рук. ст. преп. Л.И. МОЛОДЕЖНИКОВА

На сегодняшний день довольно актуальным вопросом является разработка оптимальных конструкций подогревателей высокого и низкого давления (ПВД и ПНД).

В связи с неудовлетворительной работой ПВД на многих предприятиях ведутся работы по повышению надежности и экономичности подогревателей существующих конструкций.

В ходе выполнения работы, было предложено модернизировать ПВД-К-6, а именно, использовать «горячий ход» при выделении дополнительной зоны охлаждения конденсата (ОК), располагаемой за зоной конденсации пара (КП) по ходу питательной воды, что приведет к интенсификации тепла, уменьшению площади теплообмена и габаритных размеров ПВД.

Для оценки проведенной модернизации были рассчитаны необходимые критерии оптимальности. Результаты расчетов сведены в таблицу 1.

Таблица 1

### Энергетические критерии

	ПВД-К-6	ПВД-К-6 М	Абсолютное изменение	Относительное изменение, %
Энергетический критерий Кирпичева (Е)	3403,30	4050,03	-646,73	-19,00
Критерий геометрической компактности (П)	8,70	8,82	-2,54	-1,38
Параметр $\Pi_{\Gamma}$	1,599E-06	1,318E-06	2,72E-07	17,12

Как видно из таблицы, основное изменение в параметр  $\Pi_{\Gamma}$  внес энергетический критерий Кирпичева Е, это связано со значительным изменением гидравлических сопротивлений по межтрубному пространству при неизменной мощности теплообменного аппарата. На основании этого можно считать, что модернизация ПВД имеет положительное значение.

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УСТАНОВКИ МГНОВЕННОГО ВСКИПАНИЯ ДЛЯ ОЧИСТКИ СОЛЕСОДЕРЖАЩИХ СТОЧНЫХ ВОД**

С.А. ЧАЩИНА, ТПУ, г. Томск

Науч. рук. ст. преп. Л.И. МОЛОДЕЖНИКОВА

В настоящее время проблема рационального использования водных ресурсов имеет довольно важное значение. Острота этой проблемы для предприятий обусловлена не только необходимостью обезвреживания большого количества минерализованных сточных вод и создания малоотходных энерготехнологических циклов, но и с созданием крупных водоподготовительных комплексов для получения деминерализованных вод. Деминерализованная вода нашла довольно широкое применение в различных отраслях энергетики и промышленности, например для подпитки теплосетей и водооборотных циклов.

На сегодняшний день дистилляция, являясь наиболее надёжным и распространённым методом деминерализации, может рассматриваться как наиболее перспективный способ для получения обессоленной воды.

Существует несколько различных типов дистилляционных опреснительных установок, но лишь деминерализация в установках мгновенного вскипания признана наиболее перспективным методом создания крупных деминерализационных установок (с производительностью более  $10000 \text{ м}^3/\text{сутки}$ ).

В ходе исследования, был выполнен тепловой и конструкторский расчет установки мгновенного вскипания. Согласно полученным результатам, были выявлены следующие преимущества использования данной установки: высокая энергетическая эффективность, повышенная компактность, хорошие эксплуатационные показатели, возможность практической реализации больших мощностей в одной установке за счет увеличения количества ступеней испарения (до 60 ступеней), малое накипеобразование, а также относительно низкая себестоимость получаемого дистиллята.

Однако, несмотря на имеющиеся преимущества, главной задачей остается возможность расширения области использования большого числа ступеней установки, а также оптимизация перепадов давления в ступенях испарения в зависимости от их количества.

УДК 621.1

## **СИСТЕМА ТЕПЛОУТИЛИЗАЦИИ С КОНТАКТНЫМ КОМБИНИРОВАННЫМ ТЕПЛОБМЕННИКОМ**

Н.С. ЧЕБЫШЕВА, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Э. А. АХМЕТОВ

Одним из способов повышения КПД установок является использование теплоты уходящих газов. В настоящее время температуру уходящих дымовых газов за котлом принимают не ниже 120–130 °С по двум причинам: для исключения конденсации водяных паров на боровых, газоходах и дымовых трубах и для увеличения естественной тяги, снижающей напор дымососа. При этом теплоту уходящих газов и скрытую теплоту парообразования водяных паров можно полезно использовать. Использование теплоты уходящих дымовых газов и скрытой теплоты парообразования водяных паров называется методом глубокой утилизации теплоты дымовых газов. Метод глубокой утилизации теплоты дымовых газов позволяет увеличить КПД топливопотребляющей установки на 2–3 %, что соответствует снижению расхода топлива на 4–5 кг у. т. на 1 Гкал выработанного тепла.

Система теплоутилизации с контактным комбинированным теплообменником предназначена для снижения выбросов оксидов азота, понижения температуры и утилизации тепла уходящих газов агрегатов, сжигающих газообразное топливо.

Использование Контактных Экономайзеров позволяет снизить температуру уходящих газов до 50–40 °С, что значительно уменьшает потери теплоты с уходящими газами. Таким образом, наблюдается рост коэффициента полезного действия котельной установки, соответственно снижается удельный расход топлива на котел. Утилизация теплоты приводит к тому, что в котле используют не низшую теплоту сгорания топлива, а высшую, что приблизительно на 6–9 % больше. Это позволяет повысить технологическую, экономическую и экологическую эффективность котла.

Использование контактных экономайзеров в качестве очистных аппаратов позволяет частично окупить затраты на строительство очистных сооружений за счет улучшения использования топлива, что существенно изменяет экономические показатели очистки. Следует, однако, учитывать,

что эффективная очистка отходящих газов контактным способом приводит к некоторому ухудшению качества воды, контактировавшей с газами

УДК 699.86

## **КАЧЕСТВЕННАЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИЯ – ЭФФЕКТИВНЫЙ СПОСОБ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ**

Э.Р. ШАГИЕВА, КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. ст. преп. А.И. ФАЗУЛЛИНА

Энергосбережение является одной из самых серьезных задач современности, его значение настолько велико, что сегодня его называют «шестым топливом» – экологичным, возобновляемым и недорогим. От результатов решения этой проблемы зависит место нашего общества в ряду развитых в экономическом отношении стран и уровень жизни граждан.

Поскольку земные ресурсы не бесконечны, человеку необходимо научиться экономно их расходовать. Использование энергосберегающих материалов – это прямой способ существенно снизить энергопотребление, сэкономить и в масштабах конкретной семьи или организации, и в масштабах страны. Последовательное применение энергосберегающих материалов способно снизить энергопотребление на 70 %.

Часто вместо термина «энергосбережение» употребляют слово «теплоизоляция». В принципе, это допустимо, разве что первое понятие более широко и относится к экономии различных видов ресурсов. Теплоизоляционные материалы, как один из основных механизмов энергосбережения, знакомы всем и каждому и используются в строительстве уже многие десятки лет. Другое дело, что современные технологии позволяют создавать материалы с инновационными характеристиками, чрезвычайно экономичные и эффективные, чего раньше строительство попросту не знало.

Ранее теплоизоляционные материалы оценивались по тому, какой тот или иной материал имел фактор теплового сопротивления. Однако с появлением материалов современного поколения критерии оценки несколько изменились и теперь учитывают все виды излучений, от которых материал способен предохранить.

Кроме реальной экономии, энергосберегающие материалы дают еще и такие преимущества, как создание здорового микроклимата, повышение

срока эксплуатации отремонтированного или построенного объекта, устранение теплопотерь и т.д.

УДК 622.32

## СОВМЕЩЕННЫЙ ПОДОГРЕВ МАЗУТА В РЕЗЕРВУАРЕ В СИСТЕМАХ ТОПЛИВНЫХ ХОЗЯЙСТВ ТЭС

Р.Г. ШАМСЕТДИНОВ, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. М.Ф. ШАГЕЕВ

Во время работы топливного хозяйства ТЭС возникают задачи циркуляционного совмещенного подогрева мазута в резервуаре с помощью четырех, параллельно соединенных подогревателей мазута.

При этом рассматривается циркуляционный подогрев мазута в резервуарном парке мазутного хозяйства, состоящем из одного резервуара произвольного объема, в котором в начальный момент времени  $\tau = 0$  находится мазут массой  $M_0$  и температурой  $t_x$ .

В ходе циркуляционного подогрева мазута из резервуара выходит поток мазута с расходом  $G_0$  и температурой  $t$ . Потоки мазута из резервуара направляются в узел разделения потоков, после которого поток с расходом  $G_0 = G_{01} + G_{02} + G_{03} + G_{04}$  и температурой  $t$  делится на четыре части с расходами  $G_{01}$ ,  $G_{02}$ ,  $G_{03}$  и  $G_{04}$ , которые далее направляются в соответствующие узлы смешения потоков на входах подогревателей.

На выходе из  $j$ -го подогревателя в узлах поток мазута вновь делится на три части. Одна часть с расходом  $G_{выхj}$  направляется к узлу смешения потоков и далее к резервуару, другая часть с расходом  $G_{jj}$  – направляется к выходу подогревателя на его вход, а третья с расходом  $G_{kj}$  к узлу смешения и далее к котлам.

Из резервуара выходит поток мазута с заданным расходом  $G_{др}$ , который направляется к другим видам оборудования. Кроме того, в резервуар могут подаваться потоки мазута от другого оборудования (например, со сливной эстакады) с заданными расходами  $G_{пост}$  и с заданными температурами  $t_{пост}$ .

Рассмотрев задачу, находим зависимость температуры мазута в резервуаре от времени циркуляционного совмещенного подогрева

четырьмя, параллельно соединенными, подогревателями мазута, при заданных техническими условиями эксплуатации станции расходах мазута.

Проведенный анализ результатов численных исследований циркуляционного подогрева мазута как по совмещенной, так и по отдельной схеме, показал, что теплотехнологическая схема, состоящая из резервуара и четырех, параллельно соединенных подогревателей мазута марки ПМ-10-120, способна обеспечивать как бесперебойную подачу мазута, подогретого до необходимой температуры, к котлам, так и поддержание требуемого температурного режима в резервуаре.

### **СЕКЦИЯ 3. ЭКСПЛУАТАЦИЯ И НАДЕЖНОСТЬ ЭНЕРГОУСТАНОВОК И СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ. АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ**

УДК 532.075.8

#### **ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ПУЛЬСАЦИОННЫХ КОЛЕБАНИЙ В ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ТРУБЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ФОРМЫ ТЕПЛОПОВОДА**

А.В. АГАФОНОВ, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. О.С. ПОПКОВА

Создание высокофорсированных топков сопряжено с рядом трудностей. Одной из них является борьба с высокочастотными колебаниями, возникающими в камере сгорания. Эти колебания могут существенно нарушать процесс горения и приводить к разрушению конструктивных элементов топки или двигателя. С другой стороны, известно, что ряд опытов, поставленных на промышленных топках, показал большую перспективность создания устройств, в которых вибрационное горение является нормальным режимом горения. Реализация таких режимов горения сулит большие выгоды в части увеличения теплонапряженности топков.

Целью данной работы является исследование устойчивости термически возбуждаемых пульсационных колебаний в цилиндрической трубе в случае локальной модели подвода теплоты при различных формах и положениях теплоподвода.

В работе используется модель одномерного течения, при условии, что концы трубки остаются открытыми и давление на входе и выходе остаются постоянными. Приводятся уравнения сохранения массы, импульса, тепловой энергии и уравнение состояния для идеального нетеплопроводного газа в безразмерной форме.

Рассматривается локальная модель подвода тепла. Приведены формулы распределенной теплоты по длине трубы в случае треугольного и прямоугольного импульса, а также формулы для расчета декремента затухания для локальной модели для приведенных случаев подвода теплоты.

По результатам расчетов построены зависимости коэффициента затухания для локальной модели при различных формах и положении теплоподвода. Приведенная методика позволяет определить устойчивость колебаний в трубе открытой с обеих сторон в зависимости от вида положения теплоподвода. Результаты расчетов, получены с помощью программы составленной на языке Fortran Power Station 4.0, позволяют сделать вывод о том, что устойчивые колебания возникают в трубе при положении теплоподвода в ее первой половине.

УДК 621.165

## **МИКРОТУРБИНЫ – АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ НОВОГО ВЕКА**

И.Г. АРХИПОВА, Е.С. ДИДЕНКО, АГНИ, г. Альметьевск  
Науч. рук. асс. Э.В. АБРАМОВА

Иногда люди настолько привыкают к чему-либо, что даже не задумываются о том, как оптимизировать ту или иную сферу своей деятельности. Так, например, многие продолжают подключаться к центральным сетям тепло- и энергоснабжения даже в том случае, если это дорого, долго и неудобно, не думая о том, что в настоящее время созданы устройства, позволяющие добиться гораздо лучших результатов за меньшие деньги, и устройства эти – газовые микротурбины.

Микротурбина – это небольшое модульное устройство, производящее электроэнергию и тепло, работающее на топливе любых видов газа (природный, попутный нефтяной, биологический газы, шахтный метан, сжиженный пропан, бутан, дизель или керосин).

Микротурбины являются исключительно правильным решением при выборе основы для создания локальных энергоцентров на объектах разного назначения и в любых сферах реальной экономики.

По технико-экономическим показателям рассматриваемые установки имеют ряд существенных преимуществ по сравнению с традиционно применяемыми газопоршневыми агрегатами. К числу таковых относятся: низкая стоимость обслуживания, высокая надежность, практически полное отсутствие вибрации. Однако, важнейшим свойством микротурбин является их экологичность. Они выдерживают самые строгие требования со стороны экологических служб и других надзорных органов, так как обладают самой низкой эмиссией вредных веществ по сравнению с другими технологиями (газовые турбины, поршневые двигатели).

Таким образом, микротурбины являются достаточно инновационным продуктом малой энергетики, который позволяет экономить на энергоресурсах, персонале, заботиться об окружающей среде и выводит производство на новый технологический уровень.

УДК 621

## **ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАЛЫХ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

**В.С. БАРАХТИН, А.Ф. ХАДИЕВ, АГНИ, г. Альметьевск**

**Науч. рук. ст. преп. А.Н. ЯКУНИН**

Под гидроэнергетикой понимают производство электроэнергии при помощи гидротурбин разной мощности, устанавливаемых на постоянных водотоках, чаще всего – в руслах рек. Как правило, создание гидроэлектростанции требует возведения плотины, в которой устанавливаются гидротурбины, и необходимость создания плотины.

В настоящее время существует возможность создания бесплотинных (малых) ГЭС. Преимущество данного источника электрической энергии заключается в повышении энергетической безопасности региона, так как обеспечивается независимость от поставщиков топлива, находящихся в других регионах, экономит дефицитное органическое топливо. Сооружение подобного энергетического объекта не требует крупных капиталовложений, большого количества энергоемких строительных материалов и значительных трудозатрат, относительно быстро окупается.

Кроме того, есть возможности для снижения себестоимости возведения за счет унификации и сертификации оборудования.

В разобранном виде малая ГЭС имеет небольшие массо-габаритные характеристики и легко транспортируется. Монтаж осуществляется в кратчайшие сроки с применением обычных инструментов. Высокая надёжность конструкции обеспечивает длительный срок эксплуатации оборудования. Практически не требуется профилактическое техническое обслуживание. Доступность материалов позволяет соорудить установку в любых условиях.

Малые ГЭС относятся к возобновляемым источникам энергии (ВИЭ). Вопросы развития ВИЭ и создания генерирующих мощностей на базе ВИЭ в условиях грядущего дефицита углеводородных энергоносителей очень актуальны.

Применение малых ГЭС не наносит ущерба экологии и экосфере речных систем, из-за отсутствия в составе сооружений гигантских водохранилищ, требующих неизбежной подготовки ложа водохранилища и зон затопления прилегающих территорий. Малые ГЭС востребованы там, где есть потребитель и нет сетей, либо там, где их строительство и эксплуатация осложнены естественными природными условиями.

УДК 621

## **РАСЧЕТ ТАРИФА НА ОТОПЛЕНИЕ**

Н.В. БЕЛЯНИНА, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.Е. КОНДРАТЬЕВ

Многие из нас живут в квартирах с центральным отоплением, ежемесячно нам приносят счета за отопление, стоимость этих услуг всегда нас удивляет и мы начинаем искать ответ на извечный вопрос – а почему?...

Принципиальная схема установления тарифа выглядит так:

1. Энергоснабжающая организация – составляет смету затрат (перечень всех планируемых расходов организации на год) и направляет ее для рассмотрения в уполномоченный государственный орган.

2. Уполномоченный государственный орган определяет обоснованность запланированных расходов на производство тепловой и электрической энергии. Если всё нормально, то утверждается размер так называемой необходимой валовой выручки: весь объем средств, которые

энергоснабжающая организация должна собрать с потребителей для полного обеспечения запланированных и утвержденных расходов.

3. Необходимая валовая выручка делится на заявленный потребителями объем потребления энергоносителя и, таким образом, устанавливается значение тарифа для электроэнергии – руб/кВт·ч, для тепла – руб/Гкал.

Схема расчета тарифа на теплоэнергию немного сложнее, чем на электроэнергию, так как, население оплачивает не само тепло – некое количество Гигакалорий (Гкал), – а отопление каждого квадратного метра. Расчет происходит по следующей схеме:

1. Региональная Энергетическая Комиссия устанавливает для каждой жилищной компании тариф на передачу теплоэнергии (обоснованные затраты делятся на объем передачи).

2. С учетом покупной цены теплоэнергии у энергоснабжающей организации устанавливается полная цена за Гкал тепла.

3. На основании полученных значений тарифа на теплоэнергию и установленных нормативов на отопление разных типов зданий, а также с учетом решений о доле населения в оплате коммунальных услуг (эту цифру определяют муниципальные власти и утверждает горсовет), устанавливают плату за обогрев одного квадратного метра площади жилья.

УДК 621.4

## **ОСОБЕННОСТИ ДВИГАТЕЛЯ СТИРЛИНГА И ВОЗМОЖНЫЕ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ**

С.А. БОРМОТОВ, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.Е. КОНДРАТЬЕВ

Двигатель Стирлинга – поршневой двигатель с внешним подводом теплоты от любого источника, в котором рабочее тело находится в закрытом контуре и его химический состав, во время работы двигателя, не изменяется.

Двигатель Стирлинга можно использовать во всех областях, где требуется преобразование тепловой энергии в механическую. Если двигатель имеет универсальную камеру сгорания и универсальный подогреватель, то нагревание рабочего тела может быть осуществлено с использованием различных видов топлив. Он может работать от почти любого перепада температур: например, между разными слоями в океане,

от солнца, от ядерного или изотопного нагревателя, угольной или дровяной печи и т. д.

Двигатель Стирлинга применим в случаях, когда необходим компактный преобразователь тепловой энергии, простой по устройству, либо когда эффективность других тепловых двигателей оказывается ниже: например, если разницы температур недостаточно для работы паровой или газовой турбины.

Конструкция двигателя очень проста, он не требует дополнительных систем, таких как газораспределительный механизм. Он запускается самостоятельно и не нуждается в стартере. Это позволяет обеспечить недостижимый для других двигателей ресурс непрерывной и бесшумной работы.

Двигатель не имеет частей или процессов, которые могут способствовать загрязнению окружающей среды (отсутствует расход рабочего тела). Экологичность машин Стирлинга обусловлена, прежде всего, экологичностью источника тепла, так как организовать полноту сгорания топлива в двигателе внешнего подвода тепла проще, чем в двигателе внутреннего сгорания.

Несмотря на все достоинства, такие двигатели обладают существенным недостатком – материалоемкость. У двигателей внешнего подвода теплоты, и двигателя Стирлинга в частности, рабочее тело необходимо охлаждать, и это приводит к существенному увеличению массо-габаритных показателей силовой установки за счёт увеличенных радиаторов.

УДК 621

## **ЭТАПЫ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОВЫХ ПУНКТОВ**

К.Ш. ГАЗИЗОВ, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Р.Н. ВАЛИЕВ

В качестве объектов исследования выбираются схемы тепловых пунктов, представленные в СП 41-101-95 «Проектирование тепловых пунктов». На первом этапе исследования рассматриваются схемы тепловых пунктов, определяются их режимы работы и особенности функционирования, составляется спецификация используемого оборудования. В рассмотренных тепловых пунктах реализуется:

- а) подключение и отключение потребителей от внешних тепловых сетей;
- б) учет количества отпущенной потребителям тепловой энергии;
- в) ограничение отпуска теплоты из тепловых сетей в зависимости от фактического теплотребления;
- в) передача теплоты от одного теплоносителя к другому;
- г) поддержание требуемого перепада давления в системах потребителей.

На втором этапе исследования выделяются отдельные элементы и составляются их упрощенные математические модели. При составлении моделей используются уравнения материального и теплового балансов элементов. Также на втором этапе определяются зависимости, определяющие работу элементов при изменении входных параметров. На третьем этапе исследования выделяются подсистемы образующие тепловой пункт и составляются их упрощенные математические модели. Для конструирования схем тепловых пунктов наиболее целесообразной представляется иерархическая структура, согласно которой тепловой пункт имеет три уровня: а) уровень теплового пункта; б) уровень подсистем теплового пункта; в) уровень элементов теплового пункта, так как для быстрого анализа и оценки эффективности использования той или иной схемы целесообразно использовать уже готовые подсистемы. На четвертом этапе исследования составляется алгоритм расчетного исследования энергетической эффективности. Определяются критерии оценки энергетической эффективности. Задаются границы исследования. На пятом этапе производится сборка схем тепловых пунктов и проводится их анализ.

УДК 621.6

## **БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА «БИОЭН-1»**

С.О. ГАПОНЕНКО, КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.Е. КОНДРАТЬЕВ

Биогаз – доходы из отходов. Пищевые отходы и навоз, которые скапливаются в хозяйстве, являются бесплатным сырьем для биогазовой установки. После переработки мусора вы получаете горючий газ, а также

высококачественные удобрения (гуминовые кислоты), являющиеся основными составляющими чернозема.

«БИОЭН-1» предназначен для полностью автономной работы в любых регионах России, где нет централизованного энергоснабжения. Он предназначен для переработки в сутки от 500 кг до 1 т органических отходов (навоза, фекальных стоков, растительных остатков, твердых бытовых отходов) и получения биогаза (20–40 м<sup>3</sup>/сут.), электроэнергии (40–80 кВт·ч/сут) и тепловой энергии (400–800 тыс. кДж/сут). Кроме этого производится 0,5–1 т жидких экологически чистых органических удобрений.

Комплект «БИОЭН-1» включает 2 биореактора-метантенка с общим рабочим объемом 11 м<sup>3</sup>, 2 газгольдера мокрого типа объемом 12 м<sup>3</sup>, электрогенератор с установочной мощностью 4 кВт, отопительный газоводогрейный аппарат мощностью 23 кВт, бытовую газовую плиту, беспламенную каталитическую грелку мощностью 5 кВт, механизм подготовки и загрузки сырья. Дополнительно еще может входить центрифуга производительностью 1–3 м<sup>3</sup>/ч сепарируемой жидкости.

Загрузка сырья механизирована. Затраты всех видов энергии на поддержание необходимого температурного режима при условии размещения реакторов в помещении составляет 25–30 % выработанной энергии. «БИОЭН-1» транспортируют на двух КамАЗах или ЗИЛах с полуприцепами.

Органические удобрения, получаемые в качестве побочного продукта в 1994 году были испытаны в Московской и Кемеровской областях. Были получены хорошие результаты на картофеле, капусте, моркови, томатах, клубнике, черной смородине, а также на декоративных культурах.

УДК 62-192:621.1

## **ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ ТЕПЛО- И ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРИ ИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ**

Т.Г. ГОРБУНОВА, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. Ю.В. ВАНЬКОВ

Важность решения поставленной проблемы определяется неудовлетворительным состоянием систем теплоснабжения,

характеризующимся высоким износом основных фондов, особенно теплосетей и котельных; низкой надежностью функционирования; большими энергетическими потерями и негативным воздействием на окружающую среду; существованием тесной связи систем теплоснабжения с другими важнейшими энергосистемами (электро-, газо-, водоснабжение и др.).

Исследование аварий, случившихся на территории РФ, выявило закономерную взаимосвязь указанных коммунальных структур. Москва, Алтайский край, Пенза, Карелия, Тихвин, Валдай Новгородской области, Дальний Восток – вот неполный список регионов, на территории которых наибольшее число пострадавших от техногенных катастроф. Принцип «домино» срабатывает в следующих наиболее распространенных вариантах.

1) Непредвиденное отключение электроэнергии на подстанции, осуществляющей электроснабжение, и отсутствие резервного источника энергии приводит к останову насосов в зимний период и к возможному замораживанию тепловых, а также водопроводных и канализационных сетей.

2) Аварийные работы на магистральных тепловых сетях при невозможности резервирования оказывают влияние на системы электроснабжения, последовательно приводя их к сбою и недееспособности.

3) Наиболее серьезный случай – повреждение тепловых сетей при сильных морозах. При этом возможен выход из строя систем газоснабжения (замораживание газа), систем электроснабжения (увеличение нагрузки), массовый отказ электроподстанций и последовательный выход из строя водопроводных и канализационных систем.

На основании изложенного, следует отметить тесную взаимосвязь систем теплоснабжения с другими жизненно важными системами коммунального назначения. Повышение их надежности, как наиболее уязвимых, вследствие изношенности и исчерпания ресурса, способствует комплексной стабильности энергосистем и позволяет предотвратить новые техногенные катастрофы.

УДК 620.179.1

## **СПОСОБ ВИБРОАКУСТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ МНОГОСЛОЙНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

А.Р. ЗАГРЕТДИНОВ, КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.Е. КОНДРАТЬЕВ

В настоящее время во многих отраслях машиностроения все более широкое применение находят многослойные конструкции из металлов, пластиков и их комбинаций, включая и конструкции с сотовым и пенопластовым наполнителем. Основным видом дефектов таких конструкций при их производстве, существенно снижающих их прочность, являются дефекты соединения слоев между собой. Традиционные методы дефектоскопии, такие как ультразвуковой, магнитный, радиационный вихретоковый, тепловой и прочие оказались малоэффективными для обнаружения указанных дефектов. Наиболее перспективным для этих целей является метод свободных колебаний.

В серийно-выпускаемых дефектоскопах, реализующих метод свободных колебаний, имеется наличие определенного расстояния между точкой удара и точкой съема упругих колебаний, возбуждаемых в изделии при ударе, что снижает локальность и достоверность контроля.

Целью предлагаемого способа контроля многослойных композиционных материалов является повышение качества контроля изделий. Результат достигается тем, что возбуждение упругих колебаний осуществляется ударным элементом со сквозным осевым отверстием, в центре которого расположен чувствительный элемент, а ограничение границ локальной зоны контроля осуществляется контактной поверхностью ударного элемента. Предлагаемый способ позволяет существенно сократить расстояние между устройством возбуждения упругих колебаний и приемником сигнала, получить при нанесении удара по контролируемому объекту, пик колебаний в центре сквозного осевого отверстия ударного элемента, который воспринимается пьезоэлектрическим датчиком. Кроме того, ограничение локальной зоны контроля контактной поверхностью ударного элемента позволяет избавиться от влияния колебаний соседних зон исследуемого объекта.

УДК 620.179.6

## **МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ МЕТОДОМ АКУСТИЧЕСКИЙ ЭМИССИИ**

Е.В. ИЗМАЙЛОВА, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. Ю.В. ВАНЬКОВ

В настоящее время мы не располагаем единым методом неразрушающего контроля металла трубопроводов, который бы сочетал в себе одновременно простоту и широкий диапазон применения на тепловых сетях, высокую эффективность и достоверность результатов.

Метод акустической эмиссии основан на принципе генерации (иначе: эмиссии) акустических сигналов в местах нарушения структуры металла при резком повышении давления рабочей среды. Метод нашел широкое применение при диагностике состояния энергетических агрегатов, в том числе корпусов ядерных реакторов. Как показал опыт практического применения, для обследования участка тепловой сети нужна тщательная подготовка поверхности контролируемых участков.

Один комплект аппаратуры включает в себя 16 датчиков. Это значит, что при одном подъеме давления можно продиагностировать около 300 м трубопровода.

В полупроходном канале условия производства работ таковы, что для подготовки поверхности трубопровода к диагностике необходимо частично вскрывать участок теплотрассы. Кроме того, для обеспечения подъема давления теплоносителя нужна предварительная организационная работа по координации действий с теплоисточником.

Метод акустической эмиссии имеет несколько особенностей:

- при проведении диагностики в несколько этапов можно в каждом последующем эксперименте переходить только к более высоким значениям давления теплоносителя;
- при более высоких значениях давления источники акустической эмиссии (дефекты), выявленные ранее как неопасные, могут соответствовать более высокому классу.

Обработка и анализ акусто-эмиссионного сигнала производится электронно-вычислительной техникой с применением программной среды LabVIEW.

Предлагаемый метод дает достоверность результатов при диагностике участка тепловых сетей на уровне 90 %.

УДК 681.3:621.311

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИКЛАДНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ПРОЕКТНЫХ РАБОТ**

М.И. КАЛИМУЛЛИН, КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Е.Е. КОСТЫЛЕВА

Одними из важнейших проблем, стоящими перед современными проектными организациями, являются сокращение сроков расчетов и проектирования, а также повышение качества разработки проектов и проектной документации. В настоящее время разрабатываются и эффективно применяются различные программные средства для упрощения и автоматизации процессов расчета и проектирования.

К прикладному программному обеспечению относятся **компьютерные программы**, написанные для задания компьютеру конкретной работы. Прикладные программы для проектирования используются при разработке аппаратного и программного обеспечения. Они охватывают автоматизированный дизайн (САД), автоматизированное проектирование (САЕ), редактирование и компилирование языков программирования, программы интегрированной среды разработки, интерфейсы для прикладного программирования.

В среде проектирования к программным средствам профессионального уровня относятся системы автоматизированного проектирования (САПР) и геоинформационные системы (ГИС).

САПР дают возможность на основе новейших достижений фундаментальных наук отрабатывать и совершенствовать методологию проектирования, стимулировать развитие математической теории проектирования сложных систем и объектов. В основном, применяемые средства и методы обеспечивают автоматизацию таких рутинных операций, как, подготовка текстовой документации, выполнение всевозможных технических расчетов, преобразование технических чертежей, построение графических изображений и т.д. В сочетании с современным интерфейсом данные программные продукты представляют собой мощный и удобный инструмент для специалистов, проектирующих и эксплуатирующих различные инженерные системы.

ГИС – это **информационная система**, предназначенная для сбора, хранения, анализа и графической визуализации **пространственных данных** и связанной с ними информации о представленных в ГИС объектах. С помощью инструментальных ГИС можно создавать всевозможные карты, планы и схемы, включая планы и схемы инженерных сетей с поддержкой их топологии, работать с растрами.

## ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ДИАГНОСТИКИ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Г.И. ЛОГУНОВ, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.Е. КОНДРАТЬЕВ

В настоящее время важнейшая роль при диагностике линий электропередачи, линий связи и управления отводится дистанционным методам. Среди них широкое применение находят методы импульсной рефлектометрии или локационные методы ввиду относительной простоты их практического применения. Локационный метод заключается в посылке импульса в линию и приеме отраженного сигнала. Через время прохождения импульса по линии в прямом и обратном направлении определяется расстояние до места повреждения. В рефлектометрии в настоящее время нашли широкое применение импульсы прямоугольной формы, также выпускаются приборы, работающие на базе вейвлет-функций.

Современная реализация локационных методов имеет ряд недостатков, а именно: малую чувствительность к ранним стадиям развития дефектов, неспособность некоторых из них распознать тип дефекта, сложность обнаружения отраженных импульсов на фоне помех, размывание фронтов импульса. В последнем случае место повреждения приходится определять с большой погрешностью. Выше перечисленное усложняет процесс обнаружения дефектов и, как следствие, ведет к неоправданным простоям потребителей электроэнергии с сопутствующими материальными затратами из-за недопроизводства.

Указанные недостатки сводятся к минимуму, если применить в качестве зондирующих импульсов вместо известных сигналов – особые функции. Последние должны представлять собой фундаментальный класс функций строго детерминированных как во времени, так и по спектру и, в отличие от известных функций, обладать устойчивостью при распространении в линии. Применение предлагаемой методики позволяет значительно увеличить достоверность результатов диагностики (оценки технического состояния) линий электропередачи локационными методами.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММЫ ANSYS ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЕФЕКТОВ ТРУБОПРОВОДОВ**

Ю.Г. МАШАНОВ, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Ш.Г. ЗИГАНШИН

Программа ANSYS является средством, с помощью которого создается компьютерная модель трубопровода; прикладываются действующие усилия или другие проектные воздействия; исследуются отклики системы в виде распределений звуковой волны. Программа используется для оптимизации проектных разработок на ранних стадиях, что снижает стоимость продукции. Все это помогает проектным организациям сократить цикл разработки, состоящий в изготовлении образцов-прототипов, их испытаний и повторном изготовлении образцов, а также исключить дорогостоящий процесс доработки изделия.

Используя программу ANSYS, можно выявить возможные недостатки проекта или найти его оптимальный вариант до начала изготовления или эксплуатации продукции. Например, использовать средства оптимизации программы для исследования дефекта прямого участка трубопровода. Ставилась цель построить модель бездефектного трубопровода, а также модель трубопровода с двумя дефектами, исследовать их акустические характеристики и сравнить полученные результаты. Программа ANSYS позволила уменьшить количество образцов, путем моделирования характеристик и геометрических размеров дефектов.

Эти исследования можно применить для производства продукции высокого качества при минимальных затратах. Анализ с помощью программы ANSYS может помочь значительно уменьшить расходы на проектирование и изготовление, добавить уверенности разработчику в правильности принятых им решений. Конечно-элементный анализ наиболее эффективен на концептуальной стадии проекта. Также анализ участков трубопровода действующих сетей позволит находить уже сформировавшиеся дефекты и помочь вести предупредительные работы, показывая характеристики еще не сформировавшихся дефектов.

УДК 621.311

**МОДЕРНИЗАЦИЯ ФИЛЬТРОВ МАСЛООЧИСТКИ  
ТУРБОГЕНЕРАТОРА К-200-130 ЗАИНСКОЙ ГРЭС**

А.А. МИНЕЕВ, (ф) ОАО «Генерирующая компания»  
Заинская ГРЭС, г. Заинск  
Науч. рук. А.Н. ЯМЩИКОВ

Надежность работы системы регулирования и смазки подшипников турбоагрегата во многом определяется чистотой масла, циркулирующего в этих системах. Применяемая в настоящее время частично-поточная очистка масла от воды и механических примесей на паровых турбинах осуществляется главным образом передвижной маслоочистительной машиной типа ПСМ-3000 (центрифуга). Производительность такой установки составляет всего 1,5–3,0 м<sup>3</sup>/час, а трудоемкость обслуживания центрифуги достаточно велика. Наибольший интерес представляют собой передвижные высокоэффективные маслоочистительные установки, оснащенные сменными фильтрующими элементами объемного типа. Минусами данных установок являются: затраты на электроэнергию, т.к. для приведения их в действие применяются электронасосы; малая площадь фильтрующих элементов; трудоемкость при установке и замене фильтрующих элементов.

В настоящий момент в состав блочной маслоочистки турбин нашей электростанции входят ватный фильтр, для поглощения механических примесей (заполнен технической ватой), а также цеолитовый и адсорбер, используемые в качестве отстойников.

В данном проекте предложена модернизация каждого фильтра маслоочистки турбогенератора с изменением схемы обвязки фильтров. Это позволит подключать каждый фильтр отдельно или в группе со сменными фильтр – элементами и различными фильтрующими материалами:

Модернизация фильтров маслоочистки турбогенератора позволит:

- а) поддерживать основные эксплуатационные характеристики масла на требуемом уровне в течение длительного срока работы;
- б) увеличить срок эксплуатации подшипников скольжения турбогенератора;
- в) повысит надежность работы системы регулирования ТГ;
- г) подключать каждый фильтр отдельно или группой;
- д) применять сменные фильтр – элементы с различными фильтрующими материалами;
- е) увеличить расход масла через фильтры до 10 м<sup>3</sup>/ч;
- ж) для обслуживания и эксплуатации данной установки не требуется привлечения дополнительного персонала.

УДК 62-7/78

## **РАСЧЁТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЁЖНОСТИ ТУРБОАГРЕГАТА К-100-90-5**

И.Л. МОСКАЛЁВ, ТПУ, г. Томск  
Науч. рук. зав. лаб. Л.В. САВОСТЬЯНОВА

Состояние рынка энергетического оборудования в России характеризуется значительным физическим и моральным износом основного оборудования. Наше исследование ориентировано на определение остаточного ресурса работы энергетического оборудования.

Эффективность системы планово-предупредительных ремонтов можно было бы значительно повысить, если бы проведение очередного ремонта приурочить к моменту, когда в большинстве элементов дефекты подросли до предельно критического уровня. Назначенный межремонтный ресурс в соответствии с РД 34.20.601-96, принимается равный базовому значению суммарной наработки за ремонтный цикл. Однако наработка является необходимым, но недостаточным критерием для определения назначенного ресурса.

Методом исследования является математическая модель, способная оценить состояние любого турбоагрегата по итогам изучения ремонтной предыстории конкретной машины в любой момент времени, с помощью которой можно вычислить все показатели надежности, характеризующие восстанавливаемые, ремонтируемые изделия. Все эти показатели рассчитаны на примере турбоагрегата К-100-90-5.

Отличие данной модели оценки состояния от существующих заключается в том, что она предоставит информацию, позволяющую эффективно планировать дальнейшую эксплуатацию агрегата без непосредственного контакта, основываясь не на статистике отказов, а на статистике ремонтов. То есть, позволит не доводить машину до критического состояния, а проводить предупредительные мероприятия (ремонты) для совершенствования объекта в сроки, проведения которых будут основаны на данной аналитической модели.

УДК 621

## **РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ СИГНАЛИЗАЦИИ**

## И ПРОТИВОАВАРИЙНОЙ ЗАЩИТЫ

А.В. ПАВЛОВ, АГНИ, г. Альметьевск

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Э.Р. ЕНИКЕЕВА

Нормальная работа современного нефтехимического технологического оборудования особенно в экстремальных ситуациях невозможна без надежной системы сигнализации и противоаварийной защиты (СПАЗ), обладающей хорошей живучестью.

К системам противоаварийной защиты предъявляются следующие требования: должны обеспечивать высокую точность при поддержании технологических параметров; должны повышать надежность за счет уменьшения количества логических элементов; должны обеспечивать безотказность протекания технологических процессов; должны обладать высоким быстродействием.

Однако расчет надежности систем СПАЗ представляет собой трудоемкий рутинный процесс, связанный с использованием законов теории вероятности и разработкой адекватных моделей надежности технических устройств. В то же время важность обеспечения должной надежности систем СПАЗ является несомненной, что побуждает искать пути решения проблем, возникающих при ее расчете. Рассмотрим один из вариантов решения упомянутой задачи.

Информационная технология реализована в виде программного обеспечения, написанного на языке Visual Basic. Программа «Расчет надежности систем СПАЗ» позволяет находить основные параметры надежности на основании априорных или статистических данных.

Чтобы провести обработку статистического материала для определения числовых характеристик и вида закона распределения необходимо для каждого элемента указать экспериментальные данные. В каждый момент времени отображаются статистические данные только активного элемента.

Все введенные в программу данные могут быть сохранены в файле, чтобы в дальнейшем их можно было использовать. Результаты расчетов могут редактироваться непосредственно в программе «Расчет надежности систем». Таким образом, создается отчетная документация, которая содержит структурную схему расчета надежности и все рассчитанные параметры. Готовые отчеты сохраняются в файлы Rich Text Format (.rtf).

## **ПРИМЕНЕНИЕ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ ДЛЯ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА**

А.В. ПАВЛОВ, А.Н. РОЩУПКИНА, Р.Р. АХМЕТОВ,  
АГНИ, г. Альметьевск  
Науч. рук. канд. хим. наук А.А. ЕМЕКЕЕВ

Около 65 % электроэнергии в промышленности, ЖКХ и других отраслях, расходуется асинхронными электроприводами насосных и вентиляторных установок, работающих с постоянной частотой вращения. И всё больше предприятий, рассматривают применение электроприводов с регулируемой частотой вращения как ключ к энергосбережению, повышению рентабельности и конкурентоспособности предприятия, улучшению экологической обстановки.

Одним из важнейших критериев при оценке эффективности преобразователей частоты является обеспечение их электромагнитной совместимости со стандартными асинхронными двигателями. Являясь источником высших гармоник, они оказывают влияние как на потери в двигателе и его допустимую нагрузку, так и на изоляцию статора. Это обстоятельство является особенно важным, и его нужно учитывать при выборе типа высоковольтного преобразователя частоты (ВПЧ) для стандартных высоковольтных асинхронных двигателей, имеющих ограниченные запасы по изоляционной прочности.

В системе «ВПЧ – асинхронный двигатель» можно использовать любой стандартный двигатель, но необходимо учитывать снижение допустимого момента вследствие дополнительных потерь из-за высших гармоник в токе автономного инвертора и ухудшения условий охлаждения самовентилируемых двигателей при работе в диапазоне регулирования частоты вращения. Это ограничение не столь критично для частотно-регулируемых электроприводов турбомеханизмов с квадратичной характеристикой момента сопротивления, поскольку в этом случае при снижении частоты вращения активно снижается ток нагрузки двигателя.

Подход большинства производителей к топологии ВПЧ можно свести к следующим принципиальным решениям:

- выполнение АИТ по мостовой схеме на SCR-тиристорах;
- выполнение АИТ на полностью управляемых симметричных тиристорах;

– выполнение АИН с тремя уровнями напряжения, с четырьмя уровнями и многоуровневыми.

УДК 536:537:621.4:665

**РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ И СРЕДСТВ ВИЗУАЛИЗАЦИИ  
ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В РУБАШКАХ ОХЛАЖДЕНИЯ  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК НА ЖИДКИХ  
УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГОРЮЧИХ И ОХЛАДИТЕЛЯХ**

А.Ю. ПОПОВ, А.А. ЩИГОЛЕВ, КГТУ им. А.Н. Туполева, г. Казань;  
В.А. МОНДА, КВВКУ, г. Казань;  
И.Р. АДИАТУЛЛИН, А.В. ЕРМОЛАЕВ, Д.В. МАХАНЬКО,  
И.Р. СУЛТАНОВ, КГТУ им. А.Н. Туполева, г. Казань  
М.Л. ЯНОВСКАЯ, ЦИАМ им. П.И. Баранова, г. Москва  
Науч. рук. канд. техн. наук, В.А. АЛТУНИН

В докладе проводится анализ существующих способов и средств визуализации тепловых процессов в различных жидкостях. Визуализация тепловых процессов в жидких углеводородных горючих (УВГ) и охладителях (УВО) в рубашках охлаждения энергоустановок многоуровневого использования (ЭУМИ) связана с различными трудностями, например, с тем, что жидкие УВГ и УВО находятся при докритических, критических и сверхкритических состояниях по давлению и температуре, в условиях естественной и вынужденной конвекции с возможным процессом термоакустических автоколебаний (ТААК) давления, с возникновением процесса осадкообразования, а также со специальными процессами противодействия негативным явлениям. Одним из правильных решений является визуализация тепловых процессов при естественной конвекции жидких УВГ (УВО), когда все тепловые процессы не связаны с насосной или пневматической системами подачи, когда открывается возможность глубокого исследования всех зарождающихся теплофизических процессов: пузырей и паровых свилей – при докритических давлениях, псевдопузырей и псевдосвилей – при критических и сверхкритических давлениях, а также средств и способов воздействия на эти эффекты различными внешними факторами, включая акустические волны, магнитные и электростатические поля, подвод других жидкостей и газов (воздуха) и т.д. В докладе показаны пути повышения эффективности штатных экспериментальных оптических установок Теплера, которые являются очень громоздкими, требуют

больших площадей для их размещения и больших затрат при эксплуатации и ремонте. Доклад сопровождается новыми модернизированными и запатентованными конструктивными схемами оптических установок Теплера повышенных характеристик по габаритам, по эффективности визуализации в условиях как естественной, так и вынужденной конвекции жидких УВГ и УВО на чёрно-белую и цветную кино-, видео-, фотоплёнку.

УДК 621.43

## **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ЗДАНИЙ В РОССИИ**

Т.О. ПОЛИТОВА, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. Ю.В. ВАНЬКОВ

Интеллектуальное здание (ИЗ) – это интегральное понятие, включающее в себя широкий спектр составляющих, находящихся в неразрывной связи между собой.

С точки зрения задач, решаемых системами автоматизации и управления зданиями с одной стороны и определяемых ими потребительских качеств с другой стороны: интеллектуальным можно назвать здание, которое обеспечивает оптимальную среду обитания, адаптивную и эффективную, с точки зрения затрат, в течение всего жизненного цикла здания – от проектирования до утилизации.

В современных ИЗ системы автоматизации и управления зданиями занимают ключевое место, обеспечивая взаимосвязь всего инженерного оборудования и систем здания.

В ряде исследований последних лет показана устойчивая тенденция к возрастанию доли стоимости и объема инженерных систем и систем автоматизации в общей стоимости строительных объектов.

В современных зданиях, насыщенных инженерным оборудованием, системы автоматизации и управления зданиями начинают выполнять функции обеспечения инженерной безопасности эксплуатации здания, интеграции инженерных систем и, в конечном счете, определяют уровень устойчивости функционирования всего объекта.

Следует отметить, что в системах автоматизации и управления зданиями практически все ведущие производители оборудования автоматизации переходят на открытые протоколы или обеспечивают совместимость с ними через шлюзы.

В последние годы в России, как и во всем мире, развивается строительство объектов, оснащенных современными системами автоматизации и управления зданиями.

Таким образом, интеллектуальное здание в России из идеи постепенно превращается в технологию. В этом направлении сегодня имеется ряд нерешенных проблем.

УДК 620.171.2

## **КОНТРОЛЬ КЛЕПАНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЛОПАТОК ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК С ПРИМЕНЕНИЕМ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗА**

М.В. РОМАНОВА, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, ст. преп. А.В. БУСАРОВ

Коллективом кафедры ПТС КГЭУ разработан и внедрен в производство комплекс для инструментального контроля качества клепаных соединений лопаток газотурбинных установок (ГТУ). В основе комплекса лежит метод свободных колебаний.

Комплекс состоит из системы регистрации и системы обработки сигналов. Объектом контроля данного комплекса являются клепаные соединения направляющих аппаратов 4–8 ступеней двигателя НК-16-18СТ и НК-16СТ.

В процессе контроля по каждому сигналу алгоритмом быстрого преобразования Фурье (БПФ) формировался спектр. БПФ – это функция которая описывает коэффициенты («амплитуды») при разложении исходной функции на элементарные составляющие – гармонические колебания с разными частотами. Далее вычислялся коэффициент корреляции Спирмена эталонного и текущего спектров. Полученные коэффициенты сравнивались с границей доверительного интервала, делалось заключение о годности детали.

При эксплуатации комплекса в условиях производства выяснилось существенное влияние на сигнал посторонних помех (шумов). Для устранения этой проблемы было принято решение об использовании при обработке сигналов вместо БПФ вейвлет-анализ.

Вейвлеты – это математические функции, позволяющие анализировать различные частотные компоненты данных. Они обладают существенными преимуществами по сравнению с преобразованием Фурье,

потому что вейвлет-преобразование позволяет судить не только о частотном спектре сигнала, но также о том, в какой момент времени появилась та или иная гармоника. С их помощью можно легко анализировать прерывистые сигналы, либо сигналы с острыми всплесками.

Применение вейвлет-анализа при обработке сигналов при контроле клепаного соединения лопаток ГТУ по сравнению с преобразованием Фурье позволило произвести более глубокую диагностику, произвести анализ сигнала без учёта влияния посторонних помех и сократить время обработки сигнала.

УДК 534.631

## **АЛГОРИТМ ОБНАРУЖЕНИЯ И ЛОКАЛИЗАЦИИ УТЕЧКИ ИЗ ТРУБОПРОВОДА**

В.В. СЕРОВ, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. Ю.В. ВАНЬКОВ

Совокупность эксплуатационных нагрузок вызывает локальное образование двух основных типов повреждений, приводящих в конечном итоге к разрушению трубопровода – это трещиноподобные дефекты и дефекты коррозионной природы. В этой связи необходима оценка технического состояния трубы в потенциально опасных областях.

Для реализации поставленной задачи в программной среде ANSYS методом конечных элементов были созданы и рассчитаны модели бездефектной трубы, а также модели труб с дефектами типа коррозионное утонение стенки.

Из анализа следует, что в спектре колебаний бездефектных труб присутствуют преимущественно низкие частоты от 200 до 3000 Гц, а для труб с дефектами характерно увеличение частот. Кроме того были проанализированы частоты трубы под давлением, и установлено что с возрастанием давления теплоносителя частоты также возрастают.

Для анализа графиков частот полученных в результате диагностирования изделия и сравнения их с частотами собственных колебаний полученных в ANSYS, применялась технология искусственных нейронных сетей.

В качестве ключевых признаков для различных типов колебаний, были приняты различия в спектрах бездефектной и дефектной трубы. Для дефектной трубы характерны обильные «всплески». В результате такой

предварительной обработки была подготовлена обучающая выборка. Впоследствии на данной выборке была обучена искусственная нейронная сеть, представляющая собой многослойный персептрон, обучающийся по принципу обратного распространения ошибки. После обучения нейронная сеть оказалась способна распознавать дефекты в трубах с заданной точностью 10 %. Тестирование на спектрах, не вошедших в обучающую выборку, подтвердило правильность распознавания.

Результаты обработки спектров, показали возможность применения искусственной нейронной сети для выявления и распознавания дефекта в трубах.

УДК 697.957

## **ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ В СИСТЕМЕ ВЕНТИЛЯЦИИ**

Д.Л. СТЕПАНОВА, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.Е. КОНДРАТЬЕВ.

Вентиляцией называется совокупность мероприятий и устройств, используемых при организации воздухообмена для обеспечения заданного состояния воздушной среды в помещениях и на рабочих местах в соответствии со СНиП (Строительными Нормами и Правилами).

При необходимости устройства вентиляции в здании, особенно системы приточной вентиляции, не стоит забывать, что вместе с воздухом в помещения могут проникать различные болезнетворные бактерии, вирусы, споры плесневых грибов и прочие микроскопические возбудители болезней.

К сожалению системы фильтрации, которыми зачастую оснащают современные системы вентиляции, не в состоянии очистить воздух от этих мельчайших составляющих, мало того сами системы фильтров в большинстве случаев со временем становятся благоприятной средой для размножения бактерий и грибов. Эффективно решить проблему дезинфекции воздуха в системах вентиляции позволяет установка в вентиляцию специальных УФ модулей. Принцип действия этих установок заключается в том, что вентиляция помещения осуществляется воздухом, который предварительно подвергается воздействию ультрафиолетового излучения, которое уничтожает все бактерии, и болезнетворные микроорганизмы.

То есть, использование систем вентиляции позволяет улучшить микроклимат место нахождения человека, но не стоит и забывать, что и саму систему необходимо оснащать и проводить время от времени очистку каналов и зачастую всю систему.

УДК 620.179.1

## **ДИАГНОСТИКА ЛОПАТОК ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК**

Н.А. ТЕРЕХИНА, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. М.В. АКУТИН

В последние годы газотурбинные установки получают широкое применение в различных отраслях промышленности. Причиной этого являются характерные качества газотурбинного двигателя: простота тепловой и кинематической схемы, относительная простота конструкции, малая масса, приходящаяся на единицу мощности, высокая маневренность, сравнительно простая автоматизация управления.

Надежность газотурбинных двигателей в значительной степени зависит от надежности работы лопаток компрессора и турбины, так как они являются наиболее нагруженными деталями. Они находятся в потоке газа и предназначены для изменения его параметров. Многократное изменение тепловых режимов работы двигателя – быстрый нагрев в момент пуска и быстрое охлаждение при остановке двигателя – вызывает циклическое изменение термических напряжений. Лопатка помимо растяжения и изгиба от центробежных сил, изгиба и кручения от газового потока испытывают переменные напряжения от вибрационных нагрузок, амплитуда и частота которых изменяются в широких пределах.

В процессе ремонта двигателя, после полной или частичной разборки, промывки и очистки на участок контроля для дефектации поступают узлы и детали ГТД. Лопатки турбины подвергаются различным методам контроля: внешнему (визуальному) осмотру, рентгеновскому, люминесцентному, метрологическому и ряду другим. Одним из возможных методов диагностирования является метод измерения параметров свободных затухающих колебаний лопаток в процессе их широкополосного импульсного возбуждения

Наиболее распространенными методами диагностики и принятия решения для задачи оценки состояния деталей газотурбинных двигателей (ГТД) являются статистические методы. Также можно выделить и

нейросетевые подходы решения задачи диагностики и принятия решения состояния деталей ГТД.

УДК 621.1

## **АКУСТИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Н.А. ТИТОВА, КГЭУ, г. КАЗАНЬ

Науч. рук. канд. тех. наук, доц. М.В. АКУТИН

При определении технического состояния сложных систем и агрегатов одной из актуальных является задача объективного своевременного обнаружения дефектов различной природы и организации контроля за развитием дефектов из-за старения элементов оборудования при его эксплуатации. Одним из путей предотвращения нежелательных последствий от эксплуатации изделий с дефектами является систематическое использование методов неразрушающего контроля (НК). Традиционные методы НК (радиационные, акустические, магнитные, капиллярные и другие) широко применяются на стадии изготовления и ремонта, однако, при их применении в условиях работающего оборудования возникают значительные трудности, обусловленные влиянием большого количества дополнительных факторов.

Развитие современной цифровой и аналоговой техники позволяет значительно расширить возможности применения физических методов для проведения измерений в реальном масштабе времени различных параметров и характеристик динамических объектов и процессов. В значительной степени это относится и к акустическим методам, которые являются одними из наиболее информативных. С одной стороны они обеспечивают выявление различных дефектов объекта контроля (дефекты структуры, несплошности, отклонение размеров и т.д.), а с другой – проведения различных оперативных измерений ряда технологических параметров и изучения физических свойств материалов.

Актуальность задачи совершенствования существующих и создания новых методов диагностики в настоящее время очень высока. Данные методы позволяют реализовывать контроль или давать оценку степени износа и остаточного ресурса агрегатов непосредственно в процессе работы. Большой интерес решения данной задачи вызывают различные

отрасли народного хозяйства: энергетического и авиационного машиностроения, топливно-энергетического комплекса и других.

УДК 697

## **ПОСТРОЕНИЕ РАСЧЕТНОЙ 3-D МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ КОРПУСА «Д» КАЗАНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТ**

**Б.Р. ТУХВАТУЛЛИН, КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Р.Н. ВАЛИЕВ**

Система вентиляции входит в состав систем жизнеобеспечения здания и от ее нормального функционирования зависит здоровье находящихся в здании людей, как обучающихся, так и преподавателей.

После ввода здания в эксплуатацию система вентиляции не была приведена в полностью работоспособное состояние и даже после проведения наладочных работ по некоторым параметрам не соответствует предъявляемым требованиям.

Для устранения имеющихся несоответствий поставлены следующие задачи – смоделировать в специализированной программе систему вентиляции корпуса «Д» КГЭУ, выполнить ее расчет, определить причины несоответствия установленным требованиям, разработать и внедрить мероприятия по усовершенствованию системы вентиляции корпуса «Д».

На первом этапе исследования проведен подробный сбор информации об объекте исследования, изучена проектно-техническая документация, определена последовательность моделирования системы вентиляции.

На втором этапе исследования составлена спецификация элементов, задействованных в рассматриваемой системе вентиляции и проведена инвентаризация базы данных специализированной программы. Определены отсутствующие в базе данных элементы. Для отсутствующих в базе данных элементов с помощью специальной подпрограммы разработаны их модели.

На третьем этапе составлена расчетная 3-D модель существующей системы вентиляции и выполнен ее предварительный расчет. Результаты предварительного расчета представлены в виде таблиц и графиков.

В результате проделанной работы выявлены особенности функционирования существующей системы вентиляции. На основе

полученных результатов будут определены основные направления для ее возможной реконструкции и модернизации системы вентиляции и предложены конкретные технические решения.

УДК 532.075.8

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ ИСПАРЯЮЩЕЙСЯ КАПЛИ В ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ТРУБЕ

Л.М. ФАТЫХОВА, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. О.С. ПОПКОВА

Рассматривается цилиндрическая трубка длины  $L$ , диаметра  $d$ , причем  $d \ll L$ . Ось трубки  $O\xi$  наклонена к горизонту под углом  $\alpha$ . В сечении  $\xi = l$  имеется теплоподвод шириной  $\delta$  (трубка Рийке). Схема трубки и положение капли представлены на рис.1.

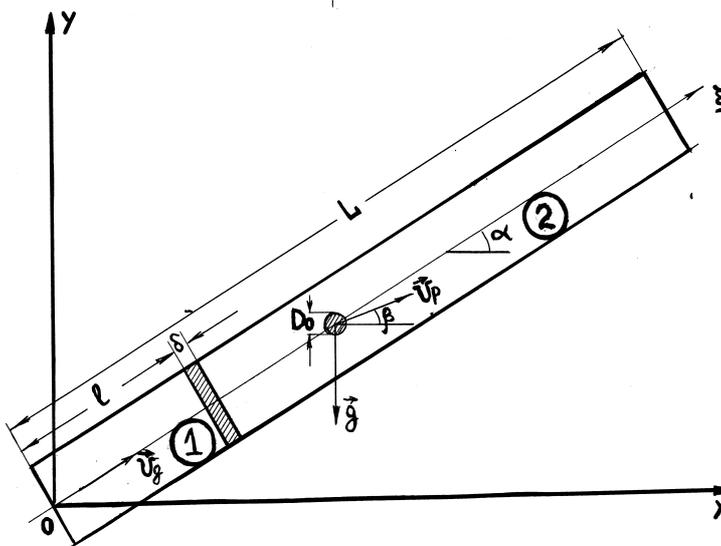


Рис. 1. Схема трубки

Течения газа в каждой из зон удовлетворяют волновым уравнениям

$$\frac{\partial^2 \Phi_i}{\partial t^2} - c_i^2 \frac{\partial^2 \Phi_i}{\partial \xi^2} = 0, \quad (i=1,2).$$

Граничные условия на концах трубки имеют вид

$$\rho_{01} \frac{\partial \Phi_1}{\partial t} \Big|_{x=0} = 0, \quad (\text{т.е. } p'(0,t)=0), \quad \rho_{02} \frac{\partial \Phi_2}{\partial t} \Big|_{x=L} = 0, \quad (\text{т.е. } p'(L,t)=0),$$

Концы трубки остаются открытыми, давление на входе и выходе полагаются постоянными. Тепловой источник ширины  $\delta$  является акустическим препятствием, делящим течение на две зоны.

Индексами 1 и 2 на рис. 1 отмечены «холодная» и «горячая» зоны области.

Начальные значения потенциалов скоростей в первой и второй зонах считаем нулевыми

$$\Phi_1(x,0) = 0, \quad \Phi_2(x,0) = 0$$

Приведенная методика позволяет рассчитать траекторию капли в зависимости от различных факторов: начальной скорости, угла вылета, ее исходного диаметра и пространственной ориентации распылителя.

Результаты расчетов, получены с помощью программы составленной на языке Fortran Power Station 4.0.

УДК 621.311.22

## **ПРЕДПОСЫЛКИ ПРОВЕДЕНИЯ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА ТЕПЛОЭЛЕКТРОЦЕНТРАЛЕЙ**

Р.М. ХАБИБУЛЛИН, Н.М. МАЗАЕВ, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Р.Н. ВАЛИЕВ

Главной задачей при проектировании и оптимизации ТЭЦ является выбор наилучшего пути адаптации к постоянно меняющимся и недетерминированным внешним условиям. Выбор проектного решения для ТЭЦ осуществляется в следующем порядке: а) выделяется объект из общей структуры ТЭК; б) выявляется внутренняя структура объекта; в) формулируется в общем виде задача оптимизации; г) выполняется эквивалентирование (группировка) реальных связей элемента или объекта; д) определяется состав задач для каждой эквивалентной системы; е) выявляются способы взаимосвязей систем в рамках иерархии объекта; ж) составляется комплекс математических моделей установок; з) устанавливается соответствие достоверности результатов моделирования. ТЭЦ является сложной системой, так как состоит из большого числа единиц оборудования и имеет много физико-технических и транспортных связей. На ТЭЦ можно выделить четыре иерархических уровня структуры: а) энергетическая установка в целом; б) энергетические агрегаты; в) группы элементов оборудования (до 6–12 групп); г) элементы оборудования (до 40–80 элементов). Изучение реальных систем, подобных ТЭЦ, требует определенной абстракции из-за практической невозможности количественного описания с помощью математических методов всех имеющихся элементов и связей. Поэтому в качестве объекта

исследования рассматривается не реальная ТЭЦ, а ее «эквивалентная система». Решение задач проектирования и оптимизации ТЭЦ имеет итеративный характер. Критериями окончания корректировок итерационного поиска решений являются: а) достаточная устойчивость зоны оптимальных значений для основных параметров; б) практическая тождественность результатов повторной оптимизации «низших» уровней. ТЭЦ, как сложная система обладает следующими свойствами: а) структурными; б) характеризующими совершенствование системы; в) характеризующими функционирование системы; г) характеризующими управляемость системы. Использование однокритериальной зависимости (функции приведенных затрат), упрощает анализ сопоставимости вариантов ТЭЦ.

УДК 697.34

## **РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА ЭНЕРГОЦЕНТРА ДЛЯ АВТОНОМНОГО ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ОБЪЕКТА ОБЩЕСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

Р.М. ХАБИБУЛЛИН, Э.Х. САЛАХОВА, КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Р.Н. ВАЛИЕВ;  
канд. техн. наук, доц. А.Е. КОНДРАТЬЕВ

Для автономного электро- и холодоснабжения объекта общественного назначения предусматривается проектирование энергетического центра, снабжающего энергоресурсами здания и сооружения, с отпуском теплоты на нужды теплоснабжения в зимний период, на нужды холодоснабжения с применением абсорбционных холодильных установок – в летний.

В Энергоцентре должно быть запроектировано оборудование тригенерации для:

Система электроснабжения:

- генерация электрической мощности на базе газотурбинных установок общей мощностью 8 МВт;
- режим работы – автономная работа на выделенную нагрузку при полной потере электроснабжения от городской сети.

Система централизованного теплоснабжения:

- суммарная тепловая мощность от энергоцентра составляет – 30 МВт;

- котельные агрегаты для компенсации пиковых нагрузок;
- резервирование по электрогенерирующему оборудованию – не предусматривается;
- температурный график теплоснабжения – 115/70 °С.

Система централизованного холодоснабжения:

- суммарная мощность холодоснабжения от энергоцентра составляет 22 МВт;
- температурный график – 10/5 °С;
- абсорбционные машины для базовых нагрузок общей мощностью согласно тепловой мощности электрогенерирующего оборудования.

Предусматривается утилизация теплоты после абсорбционной холодильной установки вместо сброса ее через градирни. Собственные нужды Энергоцентра обеспечиваются за счет собственной генерации. Режим работы энергоцентра – круглогодичный.

УДК 697

## **ПЕРЕДОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ, ВЕНТИЛЯЦИИ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА**

Т.М. ХАЙРУЛЛИН, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. М.В. АКУТИН

Современное кондиционирование не просто решает задачу охлаждения, обогрева, вентиляции или осушения воздуха, но и способно качественно влиять на экологию помещений, создавая комфортную и безопасную для здоровья человека среду.

В основе решения задачи создания идеального климата лежат такие инновационные разработки, как передовая инверторная технология, использование озонобезопасного холодильного агента (R410A) и специальных фильтров для очистки воздуха: антиоксидантного, замедляющего процессы старения и обладающего антивирусным и антибактериальным эффектом, и системы Dual Plasma, улавливающей пыль любого размера, а также все известные ароматические и аммиачные соединения.

Оптимальное регулирование производительности компрессора обеспечивает не только комфортное поддержание температуры в режимах охлаждения и нагрева воздуха, но и экономию электроэнергии. Ведущим

компаниям в этой области удастся сочетать в своем оборудовании мощь, комфорт и максимально возможную на сегодняшний день экономичность.

Чрезвычайно низкие эксплуатационные расходы – это основное преимущество инверторных систем для достижения оптимальных климатических условий. Инверторный привод сочетает в себе передовые технологии в области микропроцессорной техники, математической составляющей программного обеспечения, силовой электроники, материаловедения, а также в области высокоточной механической обработки. Синергетический эффект от сочетания различных подходов гарантирует максимальную эффективность охлаждения или нагрева воздуха.

Созданные инверторные технологии для систем кондиционирования позволяют эффективно работать кондиционерам при низких температурах воздуха: до  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  в режиме охлаждения и до  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  в режиме нагревания воздуха.

УДК 621.314

## **ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ АВТОНОМНОЙ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ, ВЫПОЛНЕННОЙ В ВИДЕ КОЛЬЦЕВОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ**

Р.И. ХАМАТЪЯНОВ, Е.И. КИДЯЕВА, Р.А. БИКБАЕВ, УГАТУ, г. Уфа  
Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.Р. ВАЛЕЕВ

Применение автономных стационарных и мобильных ветроэнергетических станций (ВЭС) позволяет снизить топливную зависимость при освоении новых промышленных районов и формировании независимой энергетической инфраструктуры, а также себестоимость производства электроэнергии, экологическую нагрузку на территорию (не создают шумовых инфразвуков и радиопомех); эффективно использовать энергию ветра с высоким КПД за счет использования большой площади ветрового потока; обеспечить работу в приземных воздушных потоках (турбулентность приземного воздушного потока мало влияет на эффективность работы) и т.д.

Разработана оригинальная конструкция автономной ВЭС [1], выполненной в виде кольцевой железной дороги (далее АВЭС-КЖД), с расположенным на ней подвижным составом тележек, на которых размещены управляемые ветряные движители, асинхронизированные

синхронные генераторы, а также двигатели внутреннего сгорания, обеспечивающие разгон и движение состава при слабых ветровых потоках.

Система диагностирования и управления АВЭС-КЖД включает в себя датчики для базового контроля ее параметров, таких как: температура, скорость ветра и движения состава, уровень и загрязнение гидравлических и смазочных жидкостей, уровень вибрации в подшипниках и зубчатых передачах, уровень и частоту напряжения и др.

По мере необходимости могут быть использованы специальные методы диагностики, такие как термография распределительного устройства или *NTD* методы дефектоскопии.

При этом предпочтительно использование *on-line* контроля, который обеспечивает: высокую точность и достоверность при техническом диагностировании АВЭС-КЖД; включение в системы *SCADA* для автоматического запуска соответствующих сигналов тревоги и оповещения персонала, при возникновении неисправности ветродвигателя, что повышает надежность АВЭС-КЖД.

Литература:

1. Хайруллин И. Х., Валеев А. Р. и др. Ветроэлектростанция // Патент РФ № 2343309. Дата опублик. 2009.01.10.

УДК 536:537:621.4:665

## **МАСЛЯНЫЕ ФИЛЬТРЫ ЭНЕРГОУСТАНОВОК МНОГОРАЗОВОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ**

А.А. ЩИГОЛЕВ, А.Ю. ПОПОВ, И.Р. ГИЛЬМУЛЛИН, И.Р. СУЛТАНОВ,  
И.Р. АДИАТУЛЛИН, А.В. ЕРМОЛАЕВ,  
Д.В. МАХАНЬКО, КГТУ им. А.Н. Туполева, г. Казань;  
М.Л. ЯНОВСКАЯ, ЦИАМ им. П.И. Баранова, г. Москва  
Науч. рук. к.т.н. В.А. АЛТУНИН

В докладе приводится полная классификация существующих фильтров энергетических установок (ЭУ) и энергетических установок многоразового использования (ЭУМИ) различного назначения и базирования. Проводится анализ теплофизических свойств отечественных и зарубежных масел, отечественных и иностранных фильтрующих элементов.

На графиках показаны временные характеристики эффективной работы различных фильтров. Подробно рассмотрены вопросы контроля за степенью засорения и забивки фильтрующих элементов, способов их замены в период работы и в период молчания ЭУМИ в земных, аэрокосмических и космических условиях. Указаны недостатки существующих фильтров.

На основе экспериментальных исследований разработаны пути повышения эффективности, надёжности и ресурса масляных фильтров. Созданы алгоритмы и методики учёта особенностей теплофизических свойств масел при проектировании и создании новых фильтров. Перспективные конструктивные схемы позволяют значительно увеличивать срок эффективной работы любого фильтра из-за размещения внутри корпуса новых средств предотвращения фильтрующего элемента от загрязнения и забивки, а также новых средств и способов контроля.

В докладе освещаются новые фильтры со средствами защиты и контроля, а также замены фильтрующих элементов в автоматическом, полуавтоматическом и ручном режимах (при необходимости) в период работы и молчания ЭУМИ. Применение таких фильтров значительно повысит общий ресурс, надёжность, эффективность, экономичность и экологичность новых ЭУМИ.

Доклад сопровождается новыми запатентованными конструктивными схемами масляных фильтров для наземных ЭУМИ (ДВС, ГТД, ВРД, ЖРД), воздушных, аэрокосмических и космических ЭУМИ (ВРД, ЖРД, ДДГ, гибридных ЭУМИ для воздушно-космических летательных аппаратов и др.).

#### **СЕКЦИЯ 4. ДИНАМИКА, ПРОЧНОСТЬ МАШИН, ПРИБОРОВ И АППАРАТУРЫ**

УДК 531.8:62-233.11

#### **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ РАСЧЕТ УЗЛА «ОСЬ – ПОДШИПНИК»**

С.А. БЕЛУХИНА, ИГЭУ, г. Иваново

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. М.А. НОЗДРИН; асс. И.А. БЕЛОВ

Обеспечение надежной работы узла «ось-подшипник» является актуальной задачей, так как узел широко применяется в оборудовании различного назначения.

В работе приводится аналитический расчет напряжений методами сопротивления материалов и методом конечных элементов. Целью данной работы является определение допустимой нагрузки на исследуемый узел и сравнение результатов аналитического и численного расчетов.

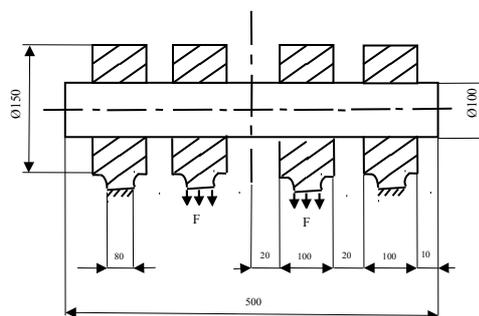


Рис.1. Расчетная схема узла

Основными этапами аналитического расчета являются выбор расчетной схемы узла с усилиями в виде распределенных нагрузок или сосредоточенных сил (рис.1), построение эпюр изгибающих моментов, определение максимальной нагрузки из условия отсутствия пластической деформации оси.

При решении задачи численным методом конечных элементов выполняются 4 этапа: построение трехмерной твердотельной модели узла «ось-подшипник», создание конечно-элементной сетки, решение контактной задачи с постепенным увеличением нагрузки, определение максимальной нагрузки из условия статической прочности.

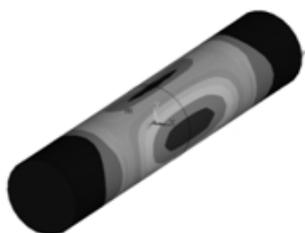


Рис.2. Поле эквивалентных напряжений по Мизесу

$\nu = 0,3$ . Принят коэффициент запаса  $[n]=1,5$ .

В результате проведенных расчетов получены следующие значения допустимой нагрузки на исследуемый узел: 158 кН для схемы с распределенной нагрузкой и 947 кН для схемы сосредоточенными силами в аналитическом расчете, и 312 кН в численном расчете (рис.2).

Результаты расчетов показывают, что в аналитическом методе при выборе схемы с распределенной нагрузкой значение допускаемой нагрузки получается заниженным, а при нагружении в виде сосредоточенных сил – завышенным.

УДК. 621. 1

## **РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТОВ ИНТЕНСИВНОСТИ НАПРЯЖЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

А.П. ЗАХАРОВ, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Б.В. ИЛЬЧЕНКО

Применение аналитических методов для вычисления коэффициентов интенсивности напряжений (КИН) для тел сложной конфигурации связано с математическими трудностями. Поэтому при решении этих задач актуальным является применение вычислительных методов.

В настоящее время для решения задач механики разрушения широкое распространение получил метод конечных элементов (МКЭ). В данной работе для расчета КИН использовался вычислительный комплекс «ANSYS», в котором реализуется МКЭ.

В программном комплексе «ANSYS» проводился расчет коэффициентов интенсивности напряжений в крестообразном образце с центральной трещиной. Особенность построения сетки конечных элементов заключается в моделировании сингулярности напряжений и деформаций в вершине трещины. Для этого в окрестности вершины трещины вводились специальные элементы с промежуточным узлом, смещенным на четверть длины стороны элемента по направлению к вершине трещины. Статический анализ напряженно-деформированного состояния образца проводился по схеме нагружения «нормальный отрыв».

Расчет КИН проводился по методу аппроксимации перемещений берегов трещины, что предполагает определение аппроксимирующего контура вокруг вершины трещины.

Также проведено исследование сходимости результатов при определении КИН. Определен оптимальный размер элементов в вершине трещины, при котором достигается стабильность решения.

В результате проведенных расчетов получено распределение параметров НДС в окрестности вершины трещины и значения коэффициентов интенсивности напряжений.

УДК 621.186

## **МОДЕЛЬ ПОЛЗУЧЕСТИ ПАРОВОДА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ**

К.Е. КАМАЕВА, КГЭУ, г. Казань  
 Науч. рук. д-р физ.-мат. наук, проф. И. Х. САИТОВ

Определение срока службы паропроводов, длительное время эксплуатирующихся в условиях ползучести, остается актуальной задачей, особенно при продлении ресурса отремонтированных участков паропроводов или их сварных соединений с физико-механическими различиями в материале шва и основного металла.

Предлагается вычислительная модель паропровода из стали 15X1M1Ф со сварным швом реализованная в программном комплексе «ANSYS». Задача решается в нелинейной постановке с использованием осесимметричной расчетной схемы и действии эксплуатационных нагрузок. Для идентификации математической модели ползучести была использована реологическая модель:

$$\varepsilon_p = A_0 \cdot \sigma^n \cdot \exp(-B/T) \quad ?$$

где  $A$ ,  $n$ ,  $B$  – параметры, определяемые по экспериментальным данным. Согласно [1] для построения математической модели рекомендуются:

$A = \ln A_0$	$B \cdot 10^{-4}$	$n$
-4,16	4,48	8,0

Для проведения расчета скорости установившейся ползучести и напряжения при постоянной температуре использовалась модель Нортона:

$$\varepsilon_p = C_7 \cdot \sigma^{C_8} \cdot e^{-C_{10}/T} \quad .$$

Для исследования деформации ползучести, выраженной нелинейной зависимостью от времени для участков паропровода из материалов с разнородными свойствами были построены кривые ползучести, с малыми шагами решения.

Литература:

1. Гохфель Д.А. Механические свойства сталей и сплавов при нестационарном нагружении. Справочник. / Д.А. Гохфель, Л.Б. Гецов и др. Екаренбург: УрОРАГН, 1996 г.

УДК 621.961.2:539.372

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ ПРОСЕЧНО-ВЫТЯЖНОГО ЛИСТА

В.А. ШЕЙКИНА, ИГЭУ, г. Иваново

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. М.А. НОЗДРИН; асс. И.А. БЕЛОВ

Просечно-вытяжной лист (ПВЛ) производится из низкоуглеродистого стального, алюминиевого, медного, латунного или нержавеющей металлопроката. ПВЛ представляет собой металлическое полотно с рифлёной поверхностью и равномерно расположенными на этой поверхности ячейками. Ячейки образуют рисунок чешуи, полученный путём просекания и последующей вытяжки участков цельного стального листа-заготовки на специальном прессе.

Чаще всего ПВЛ используется для изготовления настилов и ступеней маршевых лестниц, а также для изготовления крепи при проходческих работах в шахтах, для защиты от падающих камней на крутых склонах, при строительстве дорог и др.

ПВЛ имеет ряд преимуществ – это экономия материала, облегчение конструкции (до 80 %), противоскользящие свойства, световая и воздушная проницаемость. Кроме того, ПВЛ не задерживает грязь, мусор и снег. Соблюдение технологии изготовления ПВЛ позволяет сохранять значительные показатели жесткости и несущую способность.

В работе проводится анализ упруго-пластических деформаций и остаточных напряжений, возникающих в ПВЛ (рис. 1), и определены граничные условия. Расчёт производится при нагружении в 3 этапа и после снятия нагрузки.

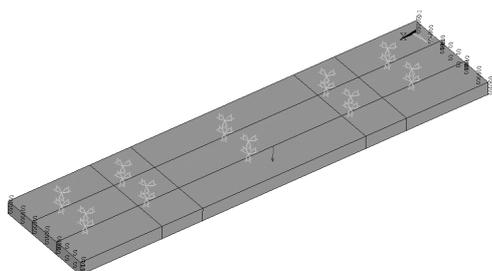


Рис. 1. Твёрдотельная модель ячейки ПВЛ, 1-ый этап нагружения

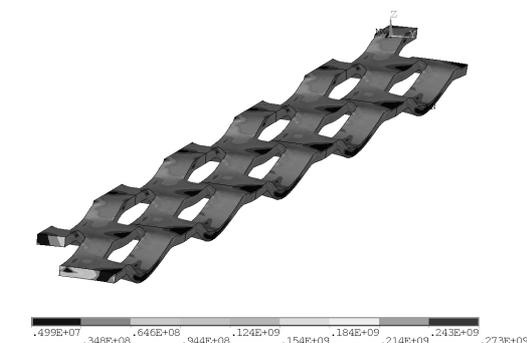


Рис. 2. Поле остаточных эквивалентных напряжений по Мизесу (Па) в ПВЛ

Результатами анализа являются поля распределения перемещений, остаточных напряжений (рис. 2) и пластических деформаций в ПВХ. Эти результаты в дальнейшем можно использовать для оценки качества технологии изготовления ПВХ.

## **СЕКЦИЯ 5. ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ, ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭНЕРГОАУДИТ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ**

УДК 622.279

### **ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ЭЦН ПО КРИТЕРИЮ МИНИМУМА ЭНЕРГОЗАТРАТ В СКВАЖИННОЙ ДОБЫЧЕ НЕФТИ**

АЛИ НИДЖРС АР, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. А.И. ГУРЬЯНОВ

На поздней стадии разработки нефтяных месторождений важно уметь определять энергетическую эффективность использования установок электроцентробежных и штанговых насосов (УЭЦН и СШНУ). Для этого необходимо знать распределение параметров газожидкостной смеси (ГЖС) вдоль подъемника (колонны и НКТ) при совместной работе установок электроцентробежного (УЭЦН), или штангового (СШНУ) насосов. Основными из таких параметров являются: давление, температура, газо и водосодержание, расход ГЖС, объемные коэффициенты.

В настоящей работе определение динамики движения газожидкостной смеси (ГЖС) основана на методе Грона-Оркишевского, согласно которому определение распределения параметров ГЖС по стволу скважины, динамики движения и энергозатрат производится исходя из:

1. Расчета динамики движения газожидкостной смеси по колонне от забоя: давление, газо- и водосодержание, расходы.

2. Определения положения насоса по стволу скважины а) без газосепаратора; б) с газосепаратором.

3. Расчета динамики движения газожидкостной смеси по НКТ от устья для различного типа оборудования.

4. Определения энергозатрат на подъем нефти для различного типа оборудования.

В расчетах определены положения насосов по глубине скважины для различных конструкций и устьевых давлений с учетом изменения характеристик ПЭД с изменением газосодержания. Использование газосепараторов и струйных насосов при работе ЭЦН снижает эксплуатационные затраты до 10 %. А использование на устье мультифазного насоса способствует существенному снижению нагрузки на подъемник до 15–20 %.

УДК 621.1

## **АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА САХАРА С ПОЗИЦИИ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА**

Л.Ф АХМЕТШИНА, КГЭУ, Казань

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. А.Я МУТРИСКОВ

В соответствии с общемировыми тенденциями приоритетными направлениями развития пищевой промышленности являются ресурсосбережение и мониторинг окружающей среды. Особенно актуальны эти направления для сахарного производства, поскольку оно – одно из самых ресурсоемких отраслей пищевой промышленности.

Для решения научно-технических и производственных проблем сахарной промышленности планируется увеличение производства сахара из собственных сырьевых ресурсов, улучшение снабжения населения и перерабатывающей промышленности сахаром и максимальное сокращение его импорта, доведение к 2012 году доли сахара, произведенного из сахарной свеклы, в общем объеме производства до 67 процентов.

Для достижения поставленных целей необходимо решить следующие задачи:

- за счет комплексной переработки сырья с использованием современных технологий уменьшить энерго- и водопотребление и обеспечить улучшение экологической обстановки в промышленных зонах предприятий;

- снижения расхода условного топлива при переработке сахарной свеклы на 0,2 % и обеспечения общего расхода условного топлива по

сахарной промышленности до уровня 4,8 % к массе перерабатываемой свеклы.

В данной работе рассматривается анализ теоретически обоснованных методов интенсификации процессов очистки сахаросодержащих растворов с помощью различных физических и химических воздействий, разработка новых технологических процессов и аппаратов, позволяющих сократить расход извести и сатурационного газа.

УДК 621.036.7

## **ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ ПУЛЬСАЦИОННОМ ЗАВОДНЕНИИ НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

С.И. БАЦУРА, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Д.В. ПРОЩЕКАЛЬНИКОВ

В настоящее время проблема повышения притока нефти к добывающей скважине приобретает все большую актуальность в связи с возрастающей потребностью в мире в углеводородном сырье, с одной стороны, и снижением дебита эксплуатируемых скважин с другой стороны. Для решения этой проблемы используется широкий набор технологий, основанных на методах физического, химического и теплового воздействия на призабойную зону и пласт в целом.

Совокупность отрицательных факторов ведет к тому, что на завершающей стадии разработки нефтяных месторождений значительная доля извлекаемых запасов нефти остается невыработанной. Все факторы обращают внимание на необходимость комплексного подхода к решению задач интенсификации притока, повышения нефтеотдачи и энергосбережения в скважинной добычи нефти при различных методах заводнения.

Использование пульсационной техники для циклического заводнения пласта решает ряд актуальных и важных задач энергосбережения. В работе рассматриваются вопросы энергосбережения, в зависимости от режимов эксплуатации месторождения путем численного эксперимента и оптимизации параметров: закачки воды, дебита и подбора оптимальной глубины спуска насосного оборудования, положения водонефтяного контакта, забойного и пластового давления. В результате сравнительного анализа непрерывной и пульсационной закачки решается задача энергосбережения и выбора оптимальных режимов пульсационного

воздействия на пласт с целью повышения нефтеотдачи, и как следствие, оказывает помощь в решении задач по поддержанию оптимальных условий эксплуатации нефтепромыслового оборудования и обеспечению высоких технико-экономических показателей добычи нефти.

УДК 665.5.02

## **КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДЕРНИЗАЦИИ ТЕПЛОМАССОБМЕННЫХ АППАРАТОВ И УСТАНОВОК**

М.М. БАШАРОВ, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. А.Г. ЛАПТЕВ

Для оценки разработанных научно-технических решений по энергоресурсоэффективности модернизируемых аппаратов рассмотрен комплексный подход. Подход заключается как в использовании термодинамического анализа теплоиспользующих технологических схем, так и в расчетах для каждого аппарата энергетического коэффициента и фактора интенсивности теплообмена. При термодинамическом анализе находятся потоки энергии и подведенная с потоком эксергия, а также потери эксергии каждым потоком, вычисляются тепловой и эксергетический коэффициенты полезного использования энергии и эксергии.

Для совместной оценки теплообменных характеристик и энергетических затрат используются выражения, предложенные Кирпичевым. Например, для массообменной насадочной колонны этот коэффициент имеет модифицированный вид

$$E = \frac{\Delta p h_{ог}}{H} ,$$

где  $\Delta p$  – перепад давления в колонне, Па;  $h_{ог}$  – общее число единиц переноса, м;  $H$  – высота слоя насадки, м. Чем меньшее значение комплекса  $\frac{\Delta p h_{ог}}{H}$ , тем эффективнее работает насадка.

Интенсивность тепло- и массообмена в аппарате можно оценить по факторам интенсивности

$$i_T = \frac{Q}{V} , \quad i_D = \frac{M}{V} ,$$

где  $Q$  – поток теплоты, Вт;  $M$  – поток массы компонента, кг/с;  $V$  – рабочий объем аппаратов, м<sup>3</sup>.

Рассмотрено применение данного подхода для оценки эффективности научно-технических решений по модернизации ректификационной колонны выделения фенола. Установлено, что замена тарелок на насадку «Инжехим» обеспечивает повышение теплового КПД на 2 %, эксергетического на 20 %, комплекса  $\eta_{ex}$  снижение в 3,3 раза, фактора  $\eta_{ex}$  повышение на 11 %. В результате внедрения насадочной колонны повысилось качество фенола и снизились энергозатраты на 40 %.

УДК 674.047.3

## **СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕПЛООБМЕННЫХ РЕКУПЕРАТИВНЫХ УСТРОЙСТВ В ТЕХНОЛОГИЯХ ГИДРОТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ**

А.С. ВОРОНЦОВ, ВГЛТА, г. Воронеж.

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. В.С. ПЕТРОВСКИЙ

При сушке пиломатериалов бесполезные, безвозвратные годовые потери по самым осторожным расчетам составляют 486000 тонн усл. топлива (т у. т.), при сушке измельченной древесины в производстве древесных плит 289788 т у. т., при производстве фанеры 19753 т у. т. Всего безвозвратные потери составляют 795500 т у. т.

Решение данной проблемы возможно с помощью энергосберегающего комбинированного управления установками сушки пиломатериалов, включающее автоматическое регулирование температуры, влажности сушильного агента в сушильной установке и контроль влажности древесины в штабеле, предварительные измерения начальной влажности и толщины пиломатериалов и на их основе по стадиям сушки проведение многокритериальной оптимизации температуры и влажности сушильного агента, согласно которому, отработанный нагретый влажный сушильный агент пропускают через теплообменник, подогревающий холодный сухой воздух из атмосферы и направляют его в сушильную установку для снижения расхода энергии на сушку, с помощью блока коррекции производят компенсацию изменений температуры (возмущающего воздействия) подогретого сухого воздуха из теплообменника, тем самым, поддерживая температуру в сушильной установке на заданном уровне.

Положительное возмущающее воздействие  $f(t)$  (температура подогретого, сухого воздуха в теплообменнике) на объект управления (сушильная установка) может значительно изменяться так, что автоматический регулятор, по основной цепи регулирования, не сможет достаточно быстро устранить, появившуюся ошибку регулирования  $x_r = t_{\text{факт}} - t_{\text{зад}}$ , (температура в камере) вызванную этим воздействием (рис. 1).

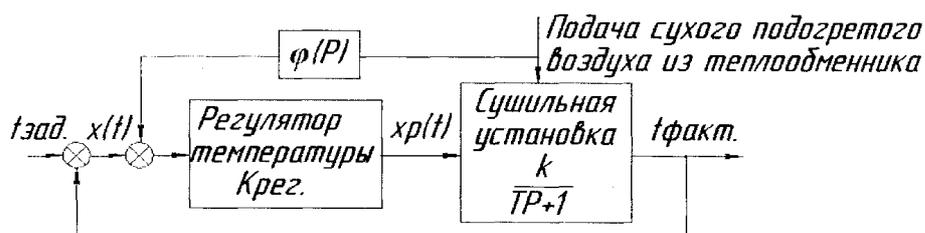


Рис. 1. Структурная схема системы управления

Все это усугубляется значительной инерционностью объекта регулирования (сушильная установка). В этой связи представляется необходимым с помощью блока коррекции  $\phi(P)$  форсировать ускоренную компенсацию изменений температуры подогретого сухого воздуха от теплообменника, тем самым, поддерживая температуру в камере на заданном уровне.

УДК 66.041.45

## МОДЕРНИЗАЦИЯ ПЕЧИ ОСУШКИ ВОЗДУХА ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ ГОРЕЛКИ ПРОИЗВОДСТВА ФИРМЫ SAASKE GmbH

Р.Г. ГИЛЬФАНОВ, А.И. МАЗИТОВ, М.М. АХСАНОВ,  
В.В. КОВАЛЕНКО, А.В. СИМАКОВ, КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. д-р техн. наук, проф. М.А. ТАЙМАРОВ

Повышения экономичности технологических печей путем замены имеющейся горелки на более экономичную, снижения расхода топлива и увеличения коэффициента полезного действия является актуальной темой на сегодняшний день.

Теплотехническое обследование печи П-6 на осушке воздуха проводилось в цехе № 2408 завода «Окиси этилена» с целью выработки технических предложений по экономии энергоресурсов. При испытаниях использовались как переносные, так и стационарные (штатные) приборы.

Был проведен расчет падающих потоков, температуры и КПД для печи П-6 НКНХ в программе Mathcad. Откуда определено:

- тепловой поток был в пределах от 68 до 74 кВт/м<sup>2</sup>;
- температура в печи составляла от 971 до 985 °С;
- КПД печи от 60 до 67,5 %.

После чего был проведен расчет экономической эффективности проекта модернизации печи П-6 путем применения горелки производства фирмы SAACKE GmbH, из которого следует, что:

- Суммарные капитальные затраты на установку новой горелки, включая затраты на инжиниринг, приобретение горелок, системы автоматики, КИП и топливной арматуры в пределах горелки и не предвиденные затраты на монтаж нового оборудования для горелочных устройств SAACKE GmbH будет 129924,2 руб.

- Приведенные затраты для горелок фирмы SAACKE GmbH будет 869383,83 руб/год (при использовании горелок SAACKE GmbH), издержки на топливо будут 849895,2 руб/год (с учетом экономии топлива 10 %).

Текущие затраты на топливо без учета ремонта и обслуживания горелок, эксплуатирующихся в настоящее время – 944328 руб/год. Таким образом, приведенные затраты при установке горелки SAACKE GmbH даже снижаются. Максимальный срок окупаемости (COF) от начала проекта  $t \approx 0,6$  года. За указанный период инвестиции, вложенные в проект, полностью возвращаются, и при минимальном сроке службы горелок 20 лет, в течение 17 лет приносят чистый доход.

**Выводы:** 1. Максимальный расчетный срок окупаемости проекта по установке горелки фирмы SAACKE не превышает 7 месяцев. По истечении указанного срока реализация проекта начинает приносить прибыль за счет экономии топлива и минимизации эксплуатационных издержек.

УДК 66.045

## **ЦЕНТРОБЕЖНЫЕ ПЛЕНОЧНЫЕ ТЕПЛООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ**

А.В. ДАВЫДОВ, КГЭУ г. Казань

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. Н.Х. ЗИННАТУЛЛИН

В центробежных пленочных теплообменных аппаратах дополнительная интенсификация процессов достигается подводом и отводом тепла от насадки. Малое термическое сопротивление тонкой пленки, обуславливает эффективность их применения для проведения самых разнообразных тепло- и массообменных процессов. Наиболее широко центробежные пленочные теплообменники применяются для концентрирования растворов.

Большие скорости движения жидкой пленки, отсутствие застойных зон, сухих пятен на поверхности теплообмена препятствуют подгоранию и прилипанию термочувствительных материалов, а также образованию отложений и накипи на теплообменной поверхности. Эти аппараты отличаются малым временем контакта обрабатываемых веществ с поверхностью ротора, что позволяет реализовать некоторый перегрев, тем самым более интенсифицировать процесс испарения без ухудшения качества продукта. Эта особенность является весьма важной в переработке многих продуктов химической, пищевой, фармацевтической промышленности, а также продуктов органического синтеза. На данный момент исследовано ламинарное течение пленки по вращающемуся диску, турбулентное же течение не изучено.

Для комплексного изучения процессов диспергирования центробежных пленочных теплообменных аппаратов использован программный пакет FLUENT, который позволит: 1) создать визуальные модели реальных аппаратов, что является несомненным преимуществом перед геометрическим моделированием; 2) описать гидродинамику жидких пленок в поле центробежных сил; 3) получить поля, мгновенных скоростей, температур и давлений; 4) определить оптимальный гидродинамический режим.

При моделировании в среде Fluent использовалась мультифазная модель гидродинамики. Задача решалась в нестационарной постановке, задание математической модели течения проводилось с учетом вязкой  $k$ - $\epsilon$  модели турбулентности. Для расчета теплообмена в CFD-модель включено уравнение теплового баланса.

УДК 621.311.001

## **СНИЖЕНИЕ ЛУЧИСТОГО ТЕПЛООБМЕНА В ОКНАХ ЗА СЧЁТ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛООТРАЖАЮЩИХ ЭКРАНОВ**

А.А. ЗАЙКОВА, К.С. ТАРАСОВ, ИГЭУ, г. Иваново  
Науч. рук. ст. преп. Н.Н. СМИРНОВ;  
канд. техн. наук, доц. В.М. ЗАХАРОВ

Для снижения тепловых потерь (преимущественно от излучения) через оконные блоки в системах теплоснабжения зданий авторами были исследованы в сертифицированной климатической камере АНО «Ивановостройиспытания» теплоотражающие экраны, выполненные в виде сплошного металлического листа (алюминиевая фольга) и полированных алюминиевых жалюзи, установленные в различных комбинациях относительно светопрозрачной конструкции.

Проведенные опыты показали увеличение приведенного сопротивления теплопередаче на 38+143 % (в зависимости от вариантов), в то же время увеличение термического сопротивления светопрозрачной зоны окна составило 65+157 %. Применение теплоотражающих экранов целесообразно в темное время суток, которое является доминирующим в течение отопительного периода практически на всей территории России.

В качестве сравнения также были произведены испытания жалюзи, выполненных из алюминиевых ламелей, покрытых краской. Следует отметить, что эмалированные жалюзи наиболее часто встречаются на рынке данного вида продукции. В ходе испытания жалюзи, приобретённых в предприятии розничной торговли, при  $\alpha = +90^\circ$ , мы получили увеличение сопротивления теплопередачи лишь на 15 %, при установке их с внутренней стороны окна, и на 28 % при совместной установке жалюзи с наружной и внутренней стороны. Данный факт объясняется высокой степенью черноты краски, значение которой лежит в пределах 0,91–0,93, что в несколько раз превышает степень черноты алюминия, изменяющейся в пределах от 0,04 (полированный металл) до 0,2 (окисленный металл). Следовательно, в жалюзи с эмалированными ламелями, предлагаемыми отечественным и импортным производителем, за счёт нанесения лакокрасочного покрытия значительно занижен энергосберегающий потенциал данной теплоотражающей конструкции.

Было определено, как повлияет применение данных окон на работу систем энергообеспечения промышленного предприятия.

УДК 628.474.37

**ГАЗИФИКАЦИЯ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ**

Р.Р. ЗАРИПОВА, КГЭУ, г. Казань  
 Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Н.Н. АКМАЕВ

В последнее время промышленное применение находит метод совместного сжигания твердых бытовых отходов и шламов сточных вод. При ведении этого процесса нет неприятного запаха, и тепло от сжигания отходов используется для осушки осадков сточных вод.

Высокотемпературный пиролиз ТБО, по существу, есть не что иное, как газификация мусора. Технологическая схема этого способа предполагает получение из биологической составляющей отходов вторичного продукт-газа с целью использования его для выработки пара, горячей воды, электроэнергии. Газификацию осуществляют в реакторе-газификаторе шахтного типа.

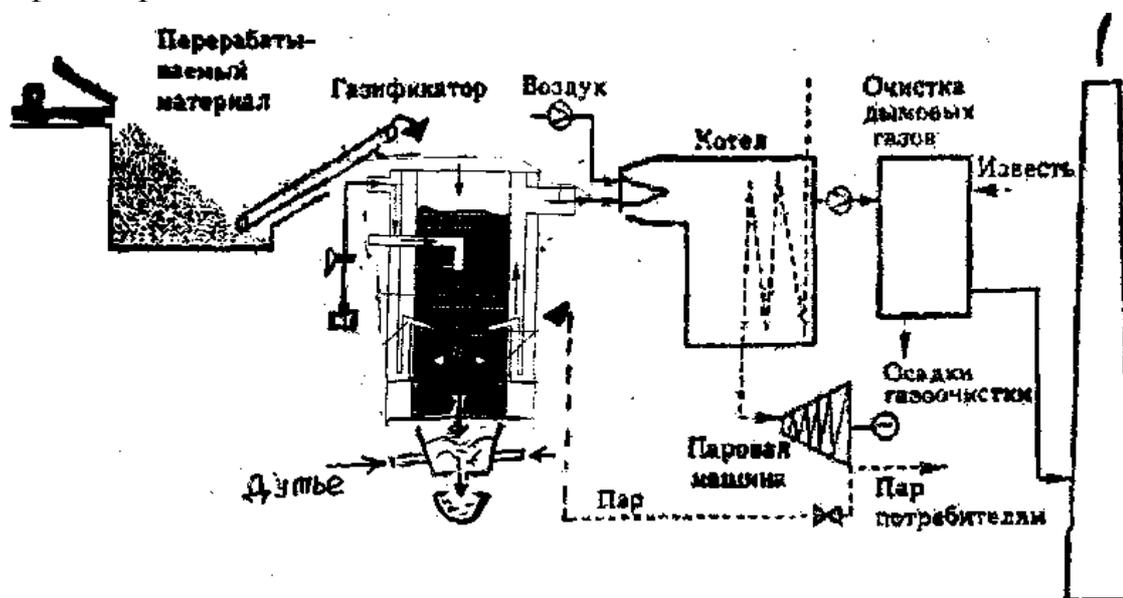


Рис. 1 Схема процесса переработки отходов с получением тепловой и электрической энергии

Перерабатываемое сырье загружается в реактор сверху через шлюзовую камеру. Снизу подаются воздух и водяной пар. Отбор продукт-газа осуществляют в верхней части реактора, а выгрузку шлака – в нижней, продвижение рабочей массы в реакторе происходит под действием собственного веса. По высоте газификатора располагаются несколько характерных зон. В самых верхних слоях температура поддерживается в пределах 100–200 °С, и продукт-газ подсушивает сырье, поступающее в реактор, ниже располагается зона, где преобладают процессы пиролиза и возгонки органических веществ. В средней части реактора располагается зона газификации, где происходит реакция коксового остатка с

кислородом, парами воды и диоксидом углерода с образованием CO и H<sub>2</sub>. Некоторая часть углерода сгорает полностью с образованием углекислого газа CO<sub>2</sub>.

Здесь (в расплаве) догорают остатки органических соединений и углерода.

УДК 621.1

## ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИ СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ УСТАНОВОК РАСПЫЛИТЕЛЬНОЙ СУШКИ МОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ

А.А. КОРОЛЕВА, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. В.Ю. ПОРФИРЬЕВ

В докладе поставлены задачи – разработать комплекс методик расчета, предложить и научно обосновать ресурсосберегающие технические решения и принципы выбора рациональных аппаратурных схем и конструкций аппаратов в составе установок ОАО «Зеленодольского молочного комбината».

Сушильный цех оснащен установкой А1-ОР2Ч, предназначенной для сушки сконцентрированного цельного молока, сконцентрированного обезжиренного молока, заменителей цельного молока с содержанием жира не более 30 %, а также сконцентрированной посырной сыворотки.

Термический КПД распылительной сушилки:

$$\eta_m = \frac{\theta_1 - t_{\text{н}}}{t_1 - t_2} = \frac{50 - 18}{165 - 90} = 0,42,$$

где  $\theta_1$  – температура окружающего воздуха, °С. Принимаем  $\theta_1 = 18$  °С.

В качестве пути повышения экономических показателей сушилки является повышение термического КПД. Оно может быть достигнуто путем повышения температуры подаваемого сушильного агента или снижения температуры отработанного воздуха, отсасываемого из сушилки. Для увеличения термического КПД необходимо снизить температуру отводимого из сушилки воздуха. При одностадийном процессе это невозможно, т.к. при этом вырастает влагосодержание готового продукта выше требуемого диапазона, составляющего обычно 2–4 %.

В результате замены одностадийной установки на двухстадийную термический КПД установки увеличивается от 42 % до 80 %.

УДК 621.1

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ СВЕКЛОСАХАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА В КАЧЕСТВЕ ИСТОЧНИКА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И ТОПЛИВА**

Е.А. МАШАНОВА, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. В.Ю. ПОРФИРЬЕВ

Отходы сахарной свеклы (жмых, жом, меласса) представляют собой важный и зачастую огромный потенциал для производства электроэнергии, который пока используется недостаточно эффективно. В России в целях выполнения принятого закона «Об энергосбережении и повышения энергетической эффективности», отраслевой целевой программы « Развитие свеклосахарного комплекса на 2010-2012 годы» предлагают строительство утилизационной ТЭЦ с паровыми котлами Q-6-25 т/ч, и электроагрегатами мощностью по 250, 500, 1000 кВт каждый, выполненной на базе паровой турбины. Срок окупаемости составляет не более двух сезонов переработки сахарной свеклы. Паровые котлы – двухбарабанные, водотрубные, работающие на твёрдом топливе. Топливо – гранулы смеси отжатого жома, мелассы и отсева угля. Низшая теплота сгорания сухого жома – 4000–4500 Ккал/кг с зольностью менее 1 %, мелассы – 3000–4000 Ккал/кг.

Котлы для сжигания отжатого жома с мелассой влажностью 50 % выполняются с пульсирующей решёткой: только эта технология, как показывает мировая практика, способна эффективно утилизировать различные отходы с высокой влажностью.

Внедрение передовых российских технологий в области эффективного использования энергии и ресурсосбережения на заводах сахарной промышленности позволит применять отжатый или подсушенный свекловичный жом и мелассу как альтернативное топливо для ТЭЦ и котельных взамен постоянно дорожающего природного газа. Это также обеспечит бесперебойную работу предприятия в случае внезапного прекращения подачи газа, особенно при низких температурах, что актуально в настоящее время, когда на многих сахарных заводах

ликвидировано резервное мазутное хозяйство и не существует альтернативы использованию газа.

УДК 621.1

## **ОПТИМИЗАЦИЯ АППАРАТНЫХ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ РЕЖИМОВ ПУЛЬСАЦИОННОГО ДРЕНИРОВАНИЯ НЕФТЯНОЙ СКВАЖИНЫ**

Л.И. МУСИНА, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. А.И. ГУРЬЯНОВ;

канд. хим. наук, доц. А.В. АХМЕРОВ

Современное состояние нефтяной промышленности характеризуется ростом количества технологий, позволяющих увеличить нефтеотдачу пластов. Это вызвано истощением крупных месторождений нефти и необходимостью освоения запасов осложненной нефти. Практически все методы увеличения нефтеотдачи являются весьма энергозатратными. Тем самым, поиск энергосберегающих решений в данной области является актуальной задачей энергетики.

Мобильная пульсационная установка (МПУ) представляет собой аппарат для пульсационной очистки скважины и призабойной зоны пласта. Ранее полученные расчетные данные хорошо коррелируют с экспериментальными данными, полученными в полевых условиях. Разработано несколько основных режимов работы МПУ: знакопеременный, режим с протоком и режим с пакером. Выбор определенного режима зависит от технических характеристик скважины, особенностей ее эксплуатации, содержания АСПО в нефти и других физико-технических показателей.

Вследствие перспективности дальнейшего развития пульсационного дренирования нами разрабатываются алгоритмы гидродинамического расчета функционирования ПУ. Уникальность технико-эксплуатационных свойств каждой скважины диктует необходимость точного подбора временных режимов пульсации, температурных режимов, обоснования использования дополнительных аппаратных элементов, таких как клапан прерывания, добавочный ресивер, энергоэффективного подбора типа и эксплуатационных характеристик насоса. Учет вышеуказанных параметров должен оптимизировать энергозатраты при работе аппарата и способствовать выполнению поставленных задач.

УДК 621.1

**ИЗУЧЕНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО РЕЖИМА  
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПУЛЬСАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ В  
ТЕХНОЛОГИЯХ КИСЛОТНОЙ ОБРАБОТКИ И  
ВОДОИЗОЛЯЦИОННЫХ РАБОТ В ПРИЗАБОЙНОЙ ЗОНЕ  
НЕФТЕНАСЫЩЕННОГО ПЛАСТА**

О.Е. НИКОНОВА, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. хим. наук, доц. А.В. АХМЕРОВ

В связи с общемировой тенденцией к технологиям форсированной добычи нефти, как правило, происходит необратимые изменения в пористом пространстве коллектора, из-за чего до половины запасов нефти остается неизвлекаемой. Так, например, одним из распространенных методов увеличения нефтеотдачи является гидроразрыв пласта, применение которого не всегда оправдано в свете долгосрочной эксплуатации месторождения.

На кафедре «Тепломассообменные процессы и установки» был разработан целый ряд методов пульсационной очистки призабойной зоны нефтенасыщенного пласта (ПЗП) и межтрубного пространства, созданы гидродинамические математические модели. В итоге многолетних исследований было доказано экспериментально в полевых условиях, что гидровибрационное воздействие с определенными параметрами на коллектор не только не ухудшает его эксплуатационные характеристики, но даже улучшает, что, в свою очередь, вызывает стабильное повышение коэффициента нефтеотдачи.

Предлагается использовать мобильную пульсационную установку (МПУ) для интенсификации химических реакций, происходящих в пористом пространстве. Используя определенное волновое воздействие, вызывающие интенсификацию сложных явлений массообмена в околоскважинном пространстве коллектора, способствует сокращению времени кислотной обработки, повышает его, а также способствует выводу твердых частиц из ПЗП, тем самым предотвращая его нежелательную кальматацию. Как правило, механизм кислотного воздействия на коллектор должен обеспечить увеличение пористости не менее чем на 10 %, а растворимость инородных материалов, загрязняющих поры и трещины пласта, должна быть наиболее полной (хотя бы на 50 %).

При использовании МПУ ожидается увеличение этих параметров. При планировании кислотной обработки и характера волнового воздействия необходимо учитывать растворимость пород в кислоте и условия эксплуатации скважины.

УДК 621.1

## **ИЗУЧЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ПУЛЬСАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЙ В ПРИЗАБОЙНОЙ ЗОНЕ ПЛАСТА**

Э.И. РАХИМОВА, КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. канд. хим. наук, доц. А.В. АХМЕРОВ

Сокращение общих запасов углеводородов, в особенности нефти, вынуждает нефтедобывающую промышленность обратить внимание на трудноизвлекаемые запасы последней. Добыча тяжелой нефти требует, как правило, не только значительных энергозатрат, но также освоение новых технологий.

Прежде был разработан целый ряд методов пульсационной очистки призабойной зоны пласта (ПЗП) и межтрубного пространства, созданы гидродинамические математические модели.

Однако многообразие методов увеличения нефтеизвлечения, в частности термохимических, требует разработки методики применения пульсационных технологий. Разрабатываемая методика позволит подобрать вид пульсаций для каждой отдельной эксплуатируемой скважины, как с ее временной остановкой, так, что особенно важно, без прекращения нефтеизвлечения либо нагнетания воды.

В частности рассчитывается модель кислотной обработки призабойной зоны пласта, совмещающая несинхронные пульсации и хорошо известную технологию «сквиз». Определяются коэффициенты тепломассопереноса и энергоэффективности.

УДК 658.26

## **ОПТИМИЗАЦИЯ АВТОНОМНОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Э.В. РОДИОНОВ, Д.Ф. ВАХИТОВ КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Н.Н. АКМАЕВ

В последнее десятилетие в России наблюдается устойчивый рост доли децентрализованных источников энергии. При этом основная доля прироста будет происходить на установки, использующие в качестве топлива природный газ, то есть газотурбинных и газопоршневых мини-Тэц. Мини-ТЭЦ – теплосиловые установки, служащие для совместного производства электрической и тепловой энергии в агрегатах единичной мощностью до 25 МВт, независимо от вида оборудования.

Мини-ТЭЦ, как правило, работает в двух основных производственных режимах:

- получение электричества и тепла ([когенерация](#));
- получение электричества, тепла и холода ([тригенерация](#)).

***Основные преимущества мини-ТЭЦ по сравнению со стандартными схемами энергоснабжения :***

- нет необходимости прокладки и обслуживания протяженных теплотрасс, что сопряжено со значительными затратами и потерями тепла (до 25 %);

- значительно уменьшаются энергетические потери на транспортировку теплоносителя;

- снижение себестоимости производства электроэнергии и теплоты за счет комбинированной их выработки и использования более совершенного оборудования;

- повышение надежности энергоснабжения;

- независимость режима работы потребителя от режима работы энергосистем;

- более просто решаются вопросы обеспечения экологической безопасности и снижение затрат на охрану окружающей среды.

По сравнению с традиционными способами производства электроэнергии и тепла мини-ТЭЦ выбрасывают в атмосферу на 60 % меньше  $\text{CO}_2$  и  $\text{NO}_x$ , значительно сокращая потребление топлива, благодаря этому они становятся перспективной альтернативой существующих ТЭЦ.

УДК 621.1

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НИЗКОКАЛОРИЙНОГО ГАЗА ДЛЯ ПЕЧНОГО  
ТОПЛИВА ПУТЕМ МОДЕРНИЗАЦИИ ГОРЕЛОК АГГ-3М**

Р.О. РАХМАТОВ, КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. д-р техн. наук, проф. А.И. ГУРЬЯНОВ

В последние годы перед управлением «Татнефтегазопереработка» остро стоит вопрос отбора целевых продуктов из перерабатываемого сырья. Перерабатывая сырьё по существующей схеме, в настоящее время извлекается максимально возможное количество продукции. И без конструктивных изменений схемы переработки нельзя как-либо увеличить глубину извлечения.

В настоящее время в качестве топлива для печей используется часть сухого газа с калорийностью  $7100 \text{ ккал/м}^3$ , который получается путем смешивания отбензиненного газа УНТКР с калорийностью  $6300 \text{ ккал/м}^3$  и газов регенерации и охлаждения УООГ с калорийностью  $8500 \text{ ккал/м}^3$ . Оставшуюся часть газа, направляемого в магистральный трубопровод, доводят до требований ГОСТ 5542-87 (калорийностью  $7674 \text{ ккал/м}^3$ ), путем смешивания с высококалорийными сбросными газами отпарных колон ГФУ с калорийностью  $14700 \text{ ккал/м}^3$  и очищенного осушенного нефтяного газа после УООГ, с калорийностью  $10100 \text{ ккал/м}^3$ .

Предлагается использовать в качестве топлива печей отбензиненный газ с калорийностью  $6300 \text{ ккал/м}^3$ . При этом газы регенерации и охлаждения направить для повышения калорийности сухого отбензиненного газа, а освобождающуюся часть очищенного нефтяного газа направить на переработку для выработки готовой продукции. Произведен расчет и предложен вариант модернизации имеющихся горелочных устройств АГГ-ЗМ, показавших устойчивую работу горелки при испытании на низкокалорийном газе с калорийностью  $6300 \text{ ккал/м}^3$ . При этом, для обеспечения оптимальной производительности печей, необходимо увеличить размеры каналов в резонаторах горелок АГГ-ЗМ без изменения размеров резонатора и горелки.

Внедрение данного мероприятия позволит использовать на печах ПБ-22 низкокалорийный газ, что даст возможность подать на переработку  $25 \text{ млн.м}^3/\text{год}$  осушенного очищенного газа, дополнительно выработать продукцию и получить прибыль предприятию.

УДК 621.1

**ИНТЕНСИФИКАЦИЯ И ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИ  
ПРОИЗВОДСТВЕ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ПРОДУКТОВ**

Е.О. РУПАСОВА, КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. д-р техн. наук, проф. А.Я. МУТРИСКОВ

Среди важнейших проблем, в настоящее время, особое место занимает проблема энергосбережения. Решение вопросов энергосбережения отвечает концепции энергетической политики России в новых экономических условиях и вызвано наличием ряда факторов: потребностью в реконструкции российской экономики; в необходимости проведения активных высоких энерго- и ресурсосберегающих мероприятий; неоправданным потреблением топливных и энергетических ресурсов на единицу выпускаемой продукции. Создание энергосберегающих химико-технологических систем промышленных предприятий может быть реализовано путем использования современных научных достижений. Но такой подход требует больших капиталовложений, что в сложившейся экономической ситуации под силу далеко не каждому промышленному предприятию. Поэтому актуальной является модернизация существующих химико-технологических и тепло-технологических систем, требующая значительно меньших капитальных затрат, чем глобальная реорганизация производства. Целью работы является: анализ современных химико-технологических и тепло-технологических систем; выявление вторичных энергетических ресурсов в действующих химико-технологических и тепло-технологических системах промышленных предприятий. Для достижения указанных целей в работе проводится поиск методики разработки энергосберегающих мероприятий для химико-технологических и тепло-технологических систем.

Интенсификация промышленного химического производства представляет собой важнейшее средство повышения эффективности, ресурсного обеспечения и ускорения в решении задач экономического и социального развития.

При решении задач повышения эффективности и интенсификации химических процессов необходимо рассматривать вопросы энерго- и ресурсосбережения, охраны окружающей среды и т.д.

УДК 621.18

## **О ВОЗМОЖНОСТЯХ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОТЫ УХОДЯЩИХ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ ПЕЧЕЙ, ОБЪЕКТОВ ПРОМЫСЛОВОЙ ПОДГОТОВКИ НЕФТИ**

И.И. САГДАТОВ, АГНИ, г. Альметьевск  
Науч. рук. ст. преп. Г.М. ЗАКИРОВА

Применяемые в настоящее время технологические объекты промышленной подготовки нефти потребляют значительное количество топлива. Например, только на установках комплексной подготовки нефти (УКПН) его удельные расходы могут составлять до 6–7 кг на тонну товарной (стабильной) нефти.

Генераторами тепла, используемыми в названных объектах являются трубчатые печи. При условии сгорания  $1 \text{ м}^3$  попутного нефтяного газа со средним избытком воздуха равным  $\approx 1,2$  выделяется  $\approx 15 \text{ м}^3$  дымовых газов.

Из способов утилизации теплоты дымовых газов, покидающих печи, были рассмотрены следующих два:

1. Использование контактного теплообменника «газ-жидкость», расположенного за конвективными поверхностями нагрева печи. Движение дымовых газов осуществляется принудительно. При этом они барботируют через слой нагреваемой воды и далее удаляются в атмосферу.

Основным достоинством данного способа является возможность оказывать влияние на нефтеотдачу пластов, так как при закачке в поглощающие пласты подогретой воды, содержащей растворенный в ней углекислый газ, может существенно возрасти коэффициент извлечения нефти. Трудность реализации данного способа связана с существенной агрессивностью воды, возникающей вследствие присутствия угольной кислоты, образующейся в результате растворения в ней двуокиси углерода, присутствующего в продуктах сгорания попутного нефтяного газа (до 13 %).

2. Использование котла-утилизатора, установленного также за конвективными поверхностями нагрева печи. В котле-утилизаторе нагревается вода и в нем могут быть получены горячая вода или насыщенный водяной пар.

Данный способ позволяет: во-первых – получить дополнительное количество нефти в результате повышения температуры нагнетаемой в продуктовые пласты подогретой воды; во-вторых – вырабатывать горячую воду или насыщенный пар, которые могут быть использованы для целей отопления, для поддержания тепловых режимов трубопроводов – спутников а также для пропарки технологического оборудования и пожаротушения.

УДК 621.181

## ПАРОГАЗОВЫЕ УСТАНОВКИ НА УГОЛЬНОМ ТОПЛИВЕ

И.Н. САФИУЛЛИН, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Н.Н. АКМАЕВ

Прогнозы развития мирового энергетического хозяйства предсказывают опережающие темпы роста потребления электроэнергии по сравнению с темпами роста потребления первичных источников энергии. Удовлетворение прогнозируемых потребностей в электроэнергии потребует ввода новых генерирующих мощностей.

Одним из признанных направлений реализации поставленных задач является широкое внедрение в энергетику комбинированных парогазовых установок (ПГУ). Это позволяет существенно повысить КПД производства электроэнергии путем объединения в одной парогазовой установке высокотемпературного подвода и низкотемпературного отвода тепла.

Смысл объединения этих установок заключается в снижении потерь отработавшего тепла газовых турбин или тепла уходящих газов парогенераторов, и, следовательно, в повышении КПД парогазовой установки по сравнению с отдельно взятой паротурбиной или газотурбинной установками. В итоге КПД современных ПГУ составляет 55–58 %.

На обозримую перспективу уголь сохранит позиции основного источника производства электроэнергии, несмотря на характерные для 90-х годов высокие темпы прироста энергетических мощностей на природном газе.

Для применения твердого топлива в разных странах активно разрабатываются и реализуются новые для энергетики экологически чистые и эффективные технологии: процессы газификации и прямого сжигания твердого топлива под давлением в кипящем или циркулирующем слое. Серьезное внимание заслуживает газификация угля и как средство отхода энергетики от «газовой зависимости» в условиях ограниченности геологических запасов природного газа по сравнению с запасами твердого топлива.

Газификация твердого топлива как направления топливоиспользования решает задачи перевода твердых горючих ископаемых в удобное для сжигания «чистое» топливо – горючие газы, а

также в необходимое химическое сырье – водород и смеси водорода с окисью углерода.

УДК 621.1

## **ИЗУЧЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ПУЛЬСАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИИ ЦЕМЕНТИРОВАНИЯ ЗАКОЛОННОГО ПРОСТРАНСТВА СКВАЖИН**

А.Д. САФИУЛЛИНА, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. хим. наук, доц. А.В. АХМЕРОВ

Одной из основных задач при цементировании скважин является создание герметичного цементного кольца, гарантирующего отсутствие заколонных проявлений и межпластовых перетоков после цементирования скважины, которые обусловлены, в основном, образованием в период ОЗЦ флюидопроводящих каналов в зацементированном заколонном пространстве, в результате седиментации и при напорном воздействии флюида пластов. Данная технология решает проблему формирования герметичного цементного кольца путем закачки в заданные расчетные интервалы заколонного пространства специальных тампонажных растворов с повышенными изолирующими и прочностными свойствами (РПИС), обладающих набором специфических количественных показателей, рассчитанных для заданных конкретных геолого-технических условий, которые в совокупности обеспечивают формирование герметичного цементного кольца в этих условиях. При этом учитываются конкретные параметры заколонного пространства (динамическая температура, изменяющаяся по стволу, величина кольцевого зазора по интервалам, зенитный угол по интервалам, пластовые и межпластовые давления и т.д.). В данной работе разрабатываются оптимальные режимы гидровоздействия ПУ в зависимости от конструктивных свойств скважины и технологии цементирования, что, в свою очередь, улучшает качество цементного камня, позволяя эксплуатировать скважины в интенсивном режиме.

УДК 536.24

## **СИСТЕМА ИНДУКЦИОННОГО ПОДОГРЕВА ДИСКОВ**

## ТУРБОАГРЕГАТОВ С МИНИМАЛЬНЫМИ ЭНЕРГОЗАТРАТАМИ

С.В. СТЕПАНОВ, И.О. ЩЕПИН, СамГТУ, г. Самара

Науч. рук. д-р техн. наук, доц. А.А. БАЗАРОВ

В ремонтных технологиях дисков турбоагрегатов имеется несколько операций, требующих предварительного подогрева. Сюда относятся процедуры съема диска с вала турбины, подогрева зубцовой зоны перед сваркой и подогрева перед горячей посадкой. Используемый в настоящее время нагрев газовыми горелками не позволяет обеспечить заданную точность распределения температуры. Кроме того, применение открытого пламени в непригодном помещении снижает культуру производства и отличается повышенной пожароопасностью. Поэтому переход к более производительным, экологичным способам нагрева является актуальной задачей. Наиболее эффективным в данном случае является индукционный нагрев.

В качестве вариантов конструкций индуктора для нагрева полотна диска рассматривались многовитковые дисковые катушки. Их особенностью являются довольно низкие коэффициент мощности и напряжение, что требует принятия соответствующих мер при согласовании с источником питания. Проектирование индуктора, повторяющего кривизну поверхности диска и охваченного магнитопроводом, позволило улучшить энергетические показатели. Дополнительным плюсом является экранирование персонала от мощных магнитных полей.

Для нагрева группы зубцов замковой зоны диска разработана конструкция индуктора, состоящего из нескольких витков переменного сечения, уложенных в пазы.

Задача разработки системы нагрева, обеспечивающей минимальный расход энергии при достижении заданного конечного состояния, содержит две взаимосвязанные проблемы: проектирование пространственного распределения мощности внутренних источников тепла и синтез временного управления.

При проектировании индуктора использовалась конечно-элементная модель расчета электромагнитных устройств, позволяющая учесть сложность формы нагреваемого тела и индуктора. Программа ELCUT позволила получить решение нелинейной задачи с высокой точностью и отыскать оптимальную конструкцию с помощью встроенного алгоритма оптимизации.

УДК 621.1

## **ОСНОВЫ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ ПРИ ЭКСТРАГИРОВАНИИ САХАРОЗЫ ИЗ СВЕКЛОВИЧНОЙ СТРУЖКИ**

Л.Р. УСМАНОВА, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. А.Я. МУТРИСКОВ

В современных условиях производство и реализация продукции свеклосахарного производства подчиняются постоянно усиливающейся конкуренции. В связи с этим необходима разработка ресурсосберегающих технологий, обеспечивающих максимальное использование сырья и выпуск продукции высокого качества при максимальной экономии материальных и энергетических ресурсов. Примером достижения данных целей может служить разработка новых и усовершенствование существующих способов осуществления процесса экстрагирования сахара из свекловичной стружки.

Процесс экстрагирования сахарозы представляет собой важнейший этап в технологии производства сахара из сахарной свеклы. Успешное проведение экстрагирования способствует увеличению выхода сахара и снижению его потерь.

На отечественных свеклосахарных заводах степень извлечения сахара из свекловичной стружки не достаточно высока. Это связано: во-первых, со снижением технологического качества перерабатываемой свеклы; во-вторых, с несовершенством существующего оборудования для проведения процесса; в-третьих, с недостаточным использованием физико-химических способов интенсификации процесса извлечения сахара; в-четвертых, с отсутствием предварительной обработки стружки различными химическими реагентами с целью повышения ее прочности.

Для интенсификации процесса экстрагирования целесообразны следующие способы:

1. Повышение температуры экстрагента.
2. Повышение относительной скорости движения фаз.
3. Интенсивное перемешивание.
4. Повышение давления.
5. Подвод энергии (вибрации, пульсации, ультразвуковые и инфразвуковые колебания).

УДК 621.1

## **ИЗУЧЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ МОБИЛЬНОЙ ПУЛЬСАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ЦЕМЕНТИРОВАНИЯ ЗАКОЛОННОГО ПРОСТРАНСТВА НЕФТЯНОЙ СКВАЖИНЫ**

А.Г. ШАЙХУТДИНОВА, КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. канд. хим. наук, доц. А.В. АХМЕРОВ

Мобильная пульсационная установка (МПУ) первоначально была разработана как энергоэффективная технология очистки скважины и призабойной зоны пласта. Однако многочисленные ее испытания в полевых условиях показали дополнительные возможности применения данной гидропульсационной системы, в том числе и при цементировании заколонного пространства скважины.

Вариативность и устойчивость ее режимов работы в данном применении позволяет стабилизировать расход цементного раствора, избежать неоднородностей при его подаче в заколонное пространство, предотвратить преждевременное затвердевание, а также улучшить его пластические свойства, что приведет к повышению адгезии тампонажного раствора к породе.

Качественный цементный камень является одним из главных факторов, влияющих на эксплуатационные свойства скважин и срок их службы, повышает устойчивость к перегрузкам по давлению и предотвращает нежелательные перетоки между различными пластами.

В данной работе разрабатываются оптимальные режимы гидровоздействия МПУ в зависимости от конструктивных свойств скважины и технологии цементирования, что, в свою очередь, улучшает качество цементного камня, позволяя эксплуатировать скважины в интенсивном режиме.

УДК 620.9

## **ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ ТЕПЛА НА ОСНОВЕ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ**

Г.Р. ШАРАЕВА, КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. д-р техн. наук, проф. А.И. ГУРЬЯНОВ

В настоящее время во всем мире особое внимание уделяется проблемам энергосбережения и экономии энергоресурсов. Устройства, способные восстановить тепло при низких температурных уровнях (такие как адсорбционные машины), могут быть интересной альтернативой. По сравнению с механическими системами сжатия паров, адсорбционные системы имеют преимущества энергосбережения, так как они работают на отработанном тепле или на солнечной энергии. Адсорбционный охладитель содержит только воду в качестве хладагента и силикагель в качестве адсорбента. Секция испарителя охлаждает воду, которая испаряется в одну из двух адсорбирующих камер для адсорбции на силикагеле. Горячая вода восстанавливает силикагель во второй адсорбирующей камере. Водяной пар, освобожденный из силикагеля горячей водой, будет конденсироваться в конденсаторе, который охлаждается в свою очередь путем охлаждения воды. Одним из последних трансформаторов тепла на основе фазовых переходов является химический тепловой насос DB220, который может работать в трех режимах - охлаждения, нагрева и зарядки. Процесс циклов проходит между тремя фазами агрегации – твердой, жидкой и газообразной. Зарядка хранит энергию путем высушивания соли LiCl. Заряженная энергия может быть использована для производства тепла (отопления). Кафедра «Энергообеспечение предприятий и энергоресурсосберегающих технологий» сотрудничает с фирмой Climate Well Core Technologies AB (publ), выпускающей эти установки. На кафедре ведутся работы по их совершенствованию.

УДК 621.785; 669.046

## **ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА**

А.М. ЩЕЛОЧКОВА, СамГТУ, г. Самара  
Науч. рук. д-р техн. наук, проф. Л.С. ЗИМИН

Рассматривается задача достижения максимальной энергоэффективности технологических комплексов «индукционная нагревательная установка – обработка металла давлением». Традиционный путь решения такой задачи состоит в решении локальных задач оптимизации отдельно для нагревательной установки и деформирующего оборудования в жестких рамках заданных технологических инструкций,

формируемых за пределами этих задач. Качественно более широкие возможности появляются при совместной оптимизации этих процессов, преследующей достижение предельных значений совокупного экономического показателя работы комплекса в целом, в условиях максимального числа степеней свободы для выбора различных параметров и управляющих воздействий, оптимизируемых по данному критерию.

Основная трудность в формировании экономического критерия оптимизации обусловлена желанием иметь единственный обобщенный показатель, который отражал бы многочисленные частные аспекты. При учете различных аспектов экономической эффективности можно выделить четыре основных фактора, которые при заданных ценах и нормативных показателях однозначно определяют значения подавляющего большинства остальных показателей: количество и качество продукции, а также эксплуатационные и капитальные затраты на ее производство. Учитывая сказанное, в качестве критерия оптимальности, обеспечивающего соизмерение всех четырех факторов экономической эффективности, целесообразно использовать приведенный доход.

Оптимальным является проектное решение, обеспечивающее наибольшую экономическую эффективность производства. Поиск проектных решений сводится к решению задач оптимального по быстродействию управления отдельно для нагрева и деформации при достижении результирующей температуры в конце нагрева с учётом периода транспортирования. Причём, в данном случае управление будет также оптимальным по расходу энергии. В процессе решения одновременно с поиском управляющих воздействий находятся узловые моменты оптимальной технологической инструкции: оптимальное температурное поле заготовки перед деформацией и оптимальные длительности нагрева, транспортировки и деформации.

УДК 674.02.049.2:66.012.37.(062)

## **ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ ВАКУУМНО - ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОМ НАГРЕВЕ ДРЕВЕСИНЫ**

А.В. ЩЕРБАКОВ, Орел ГТУ, г. Орел  
Науч. рук. д-р техн. наук, проф. А.Н. КАЧАНОВ

Рассмотрев технологические процессы сушки диэлектрика (древесины) можно сделать вывод, что наиболее прогрессивными

способами с точки зрения энергоресурсосбережения являются: вакуумный и СВЧ нагрев.

При вакуумной сушке происходит интенсивное испарение влаги, поверхность древесины быстро охлаждается до температуры окружающей среды и образуется пограничный слой, поэтому сушка резко замедляется. Для разрушения пограничного слоя, древесину при вакуумной сушке необходимо постоянно нагревать. На практике применяют конвективный и контактный методы нагрева древесины. Недостатком этих способов сушки является большая продолжительность цикла сушки древесины с энергетическими затратами от  $450 \text{ кВт/м}^3$  и выше.

Для интенсификации процесса сушки древесины используется энергия электромагнитного поля сверхвысоких частот (СВЧ). В результате быстрого повышения температуры внутри древесины, повышается давление водяных паров, то есть появляется избыточное давление пара внутри древесины по отношению к давлению среды. Это резко интенсифицирует процесс сушки, так как перенос пара происходит, как путем молекулярной диффузии, так и путем фильтрации через поры и капилляры древесины. Энергетические затраты на СВЧ нагрев составляют от  $280 \text{ кВт/м}^3$  до  $350 \text{ кВт/м}^3$ . Основным недостатком СВЧ сушки является то, что из-за большой концентрации в сучках смолы при СВЧ нагреве она вытекает из сучка. Образуются внутренние трещины, происходит изменение цвета, пиломатериал теряет прочность.

Как показали теоретические и практические исследования использование вакуумно-диэлектрической сушки дает возможность, снизить энергетические затраты до  $280 \text{ кВт/м}^3$ . Уменьшить время сушки в несколько раз по сравнению с камерными и паровыми способами сушки. Процесс сушки в вакуумно-диэлектрических камерах является низкотемпературным, и не требуя дополнительных энергетических затрат на нагрев древесины этот способ обеспечивает требуемое качество сушки древесины и безопасность процесса.

## **СЕКЦИЯ 6. ТЕХНОЛОГИЯ ВОДЫ И ТОПЛИВА НА ТЭС И ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ**

УДК 620.9

## **ВЫДЕЛЕНИЕ САХАРОВ ЦЕЛЛЮЛОЗОСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ БИОЭТАНОЛА**

И.Г. АБУЛЬХАЕРОВА, Э.К. МУХАМЕТГАЛЕЕВА, КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. канд. техн. наук, ст. преп. М.Н. КОТЛЯР

Биоэтанолом называется этиловый спирт низкой степени очистки, получаемый из возобновляемого источника – биомассы. Основным сырьем его производства является крахмало- и сахаросодержащие сельскохозяйственные культуры, такие как: маниок, картофель сахарная свекла, батат, сорго, ячмень и т.д.

Можно выделить следующие преимущества биоэтанола перед нефтью:

- является климатически нейтральным источником углекислого газа и на 70% снижает поступление парниковых газов в атмосферу, поскольку CO<sub>2</sub>, который выбрасывается при производстве и сгорании этанола, ранее был усвоен растениями из атмосферы в процессе фотосинтеза;

- нефть – исчерпаемый, а биоэтанол – возобновляемый ресурс;

- производство биоэтанола – безотходное;

- растительным топливом можно замещать экологически вредные добавки в бензин, при этом добавление одной части этанола в бензин ведет к экономии трех частей нефти.

В настоящее время большая часть биоэтанола производится из кукурузы (США) и сахарного тростника (Бразилия).

Сейчас ведутся работы над созданием биотоплива второго поколения – это может быть продукт на основе культур, которые хорошо растут на истощенных почвах и не требуют особых вложений в удобрения и полив, а может быть результат переработки тех или иных отходов, когда в процессе производства сельскохозяйственные угодья не задействованы вообще.

Интерес привлекают такие культуры, как, спороболус («трава прерий»), или такие отходы, как простые древесные опилки, солома, есть еще один вид биотоплива второго поколения – биосолярка из водорослей.

Несколько компаний занимаются сейчас биотопливом третьего поколения, которое должно иметь свойства, полностью аналогичные тому горючему, которым мы сейчас пользуемся.

УДК 621.182

**УВЕЛИЧЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПЫЛЕСИСТЕМЫ**

## С ШАРОВОЙ БАРАБАННОЙ МЕЛЬНИЦЕЙ

Н.С. АСТАШОВ, ИГЭУ, г. Иваново

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. С.И. ШУВАЛОВ

В условиях роста цен на энергоносители актуальными становятся вопросы рационального использования топлива на электростанциях. Так на Черепетской ГРЭС вследствие сжигания непроектного угля с низкой калорийностью и невозможности установки дополнительного пылеприготовительного оборудования для обеспечения работы котлов с номинальной нагрузкой возникает необходимость в увеличении производительности существующей пылесистемы.

Одним из вариантов решения поставленной задачи является повышение эффективности разделения сепаратора. Предложена схема дополнительного провеивания возврата сепаратора. Она может быть реализована как путем установки дополнительного сепаратора, так и путем организации внутренней повторной классификации. Разработана компьютерная программа, позволяющая проводить численное моделирование процесса размола угля в шаровой барабанной мельнице и его последующей сепарации. Исходными данными для расчета являются типоразмер мельницы, режимные параметры, характеристики сепараторов. Для различных сочетаний указанных параметров рассчитывается максимально возможная производительность пылесистемы с учетом необходимости обеспечения заданного гранулометрического состава угольной пыли.

Расчеты производились для различных типов сепараторов, характеризуемых показателем эффективности разделения  $ks$ , и при различном расходе возврата, направляемого на повторную классификацию, определяемом долей  $\alpha$ . В результате расчетов установлено, что применение повторной классификации в любом случае приводит к увеличению производительности пылесистемы. Влияние отдельных параметров выражается в увеличении производительности при увеличении показателя  $ks$  второй ступени сепарации, и увеличении  $\alpha$ .

В условиях Черепетской ГРЭС максимально возможное увеличение пылепроизводительности в случае применения схемы провеивания возврата составляет 9 т/ч или 16,7 %.

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТУРБУЛЕНТНОЙ СЕПАРАЦИИ ЭМУЛЬСИЙ В ТОНКОСЛОЙНЫХ ОТСТОЙНИКАХ

М.М. БАШАРОВ, А.И. ФАРАХОВА, КГЭУ, г. Казань  
 Науч. рук. д-р техн. наук, проф. А.Г. ЛАПТЕВ

Рассмотрено турбулентное движение двух взаимонерастворимых жидкостей между пластинами тонкослойного отстойника. Сепарация дисперсной фазы (капель) на пластины может происходить в результате диффузионного, гравитационного, инерционного и турбулентного осаждения. Ниже рассмотрена математическая модель, которая учитывает диффузионный и турбулентный механизмы. Используется известный подход, когда турбулентное и диффузионное осаждение мелких капель (<100 мкм) рассматривается как разновидность массообменного процесса с использованием обычных уравнений из теории массопередачи. В выражениях для потока частиц на стенку канала используются коэффициенты броуновской  $D_{бр}$  и турбулентной диффузии частиц  $D_d$ . В результате коэффициент скорости переноса частиц  $\beta_d$  (турбулентный миграции) находится путем интегрирования выражения:

$$\beta_d = \left( \int_0^{\delta} \frac{dy}{D_{бр} + D_d} \right)^{-1},$$

где  $\delta$  – толщина пристенного слоя, м;  $y$  – поперечная координата, м;  $D_{бр} = D_0 / (1 + \omega \lambda \tau_0)$ ;  $\tau_0$  – время релаксации частицы, с;  $\omega$  – частота энергоемких пульсаций, с<sup>-1</sup>.

Коэффициент турбулентной диффузии в однофазном потоке  $D_T(y)$  находится по известным функциям из теории турбулентности. Например, по функции Левича  $D_T = u_* \delta_1 (y / \delta_1)^n$ , где  $u_*$  – динамическая скорость, м/с;  $\delta_1$  – толщина вязкого подслоя, м;  $n=2$  – для систем жидкость-жидкость с подвижной поверхностью раздела фаз.

После интегрирования приведенного выражения получено уравнение для расчета коэффициента  $\beta_d$  и числа единиц переноса  $N = \beta_d F / V_{ж}$ , где  $F$  – поверхность пластин, м<sup>2</sup>;  $V_{ж}$  – расход жидкости (эмульсии), м<sup>3</sup>/с. Тогда эффективность разделения  $\eta = 1 - \exp(-N)$ .

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПАРИТЕЛЬНЫХ ГРАДИРЕН НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПОВ МОДУЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ**

Е.М. ВЛАСОВ, КГТУ им. А.Н. Туполева, г. Казань

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. В.Л. ФЕДЯЕВ

На многих предприятиях энергетики, химии, нефтехимии, металлургии, машиностроения, других отраслей промышленности остро стоит проблема охлаждения больших объемов оборотной воды. Признано, что для этих целей наиболее перспективно применение градирен.

Градирни представляют собой гидротехнические сооружения для интенсивного охлаждения оборотной воды атмосферным воздухом. В испарительных градирнях охлаждение воды происходит при непосредственном контакте теплоносителей, в основном, за счет испарения части ее.

Обеспечение охлаждения заданных объемов воды до требуемых температур независимо от погодных условий, других факторов – исключительно важная задача. Неудовлетворительная работа градирен может привести к уменьшению объемов, ухудшению качества выпускаемой продукции, снижению технико-экономических показателей работы оборудования, росту потребляемого сырья и энергоресурсов.

С учетом конструктивных особенностей градирен и протекающих в них процессов в данной работе представляются технические решения, согласно которым предлагается собирать из унифицированных модулей малогабаритные градирни (миниградирни), в которых сочетаются как оросительный способ охлаждения воды, так и эжекционный (брызгальный). Преимущества перед известными типами градирен заключаются в высокой эффективности охлаждения воды до требуемых показателей без затрат электроэнергии большую часть времени эксплуатации, а также простоте конструкции, доступности комплектующих, удобстве и низкой стоимости изготовления, транспортировки и монтажа. Аналоги настоящей разработки неизвестны.

Приводятся также рекомендации к применению предложенных градирен в зависимости от технологических требований, климатических условий на основе апробированных оценок эффективности работы градирен.

## РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ И УТИЛИЗАЦИИ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИХ ЖИДКОСТЕЙ

Д.И. ГАЛИМОВА, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. хим. наук, доц. Н.К. ЛАПТЕДУЛЬЧЕ

Машиностроительное производство является одним из крупных потребителей воды, а его сточные воды содержат наиболее токсичные и вредные для окружающей среды примеси. Особую опасность представляют собой сточные воды, содержащие смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ). В состав СОЖ входят нефтепродукты, минеральные и растительные масла, поверхностно-активные вещества и другие технологические добавки. Периодически производят замену отработанных СОЖ, причиной которой является насыщение их в процессе эксплуатации взвешенными веществами (металлической пылью, сажей, частицами абразивных материалов), расслаивание, загнивание и потеря технологических свойств. Сточные воды, содержащие отработанные СОЖ, отличаются разнообразием состава примесей, зависящих от исходного состава СОЖ, технологии их приготовления и использования, и в силу этого очистка их представляет сложную задачу. В связи с этим актуальной задачей является разработка локальных систем очистки сточных вод и регенерации технологических жидкостей, обеспечивающих рациональное использование природных ресурсов – возврат в производство очищенной воды и извлечение из отходов ценных компонентов. Особого решения в рамках этой задачи требует вопрос утилизации выделенного в процессе очистки шлама, что позволит предотвратить вторичное загрязнение окружающей среды.

Целью данной работы является разработка мероприятий по переработке и утилизации отработанных СОЖ. Для решения поставленной задачи на первом этапе работы были рассмотрены методы их выделения из сточных вод и последующей очистки. Наиболее перспективным направлением утилизации отработанных СОЖ является их использование на предприятиях строительной промышленности (при низкой стоимости компонентов СОЖ) и регенерационное извлечение из них дорогостоящих компонентов, что позволяет на 20–30 % снизить затраты на приобретение дорогостоящих смазочно-охлаждающих технологических средств. Возможно также вторичное использование отработанных СОЖ для очистки сточных вод от цехов нанесения гальванических покрытий.

УДК 621.187; 628.28:665

## ГРАНУЛИРОВАННЫЙ СОРБЕНТ НА ОСНОВЕ ШЛАМА ОСВЕТЛИТЕЛЕЙ ХИМВОДООЧИСТКИ

М.А. ГОЛУБЧИКОВ, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. хим. наук, доц. Л.А. НИКОЛАЕВА

Авторами предлагается использование высушенного шлама ( $W = 3\%$ ) химводоочистки (ХВО) Казанской ТЭЦ-1 в качестве нефтяного сорбента.

Одним из недостатков шлама как сорбента нефтепродуктов является его гидрофильность. Для придания шламу водоотталкивающих свойств проводим гидрофобизацию его поверхности. В качестве гидрофобизаторов чаще всего используют различные кремнийорганические соединения.

Для нормальной работы фильтра с зернистой загрузкой эффективный размер частиц адсорбента должен составлять 1,5–5 мм. Шлам ХВО имеет преимущественно гранулы размером 0,09–1,4 мм, что делает его малоэффективным при использовании в фильтрах с зернистой загрузкой.

При обработке шлама ХВО пластификатором «Натриевое жидкое стекло» (диоксид кремния, органические и неорганические соли, вода) в соотношении 1:2 и термообработки в муфельной печи при 300 °С в течение 40–60 минут получены гранулы с размером 0,5–15 мм.

Были рассмотрены гидрофобизаторы: ЕК WS 100 (на основе кремнийорганических соединений, NeoMID ВлагоSTOP Bio (сополимер, биоцид, технологические добавки, вода), ГКЖ 94 (полиметилгидридсилоксан).

Данные гидрофобизаторы добавляются в шлам в соотношении 1:4 на стадии введения модификатора. Проводится тщательное перемешивание и термообработка. Эффективность полученного сорбента определяется пропусканием искусственно загрязненной нефтепродуктами воды  $C_{исх}=1,35$  мг/дм<sup>3</sup> через слой, высотой 10 см в стеклянной колонке диаметром 2,5 см. Концентрация нефтепродуктов в фильтрате составила  $C_{кон}=0,0095$  мг/дм<sup>3</sup>, эффективность очистки 99,3 %.

Также проведен контроль фильтрата на кремнесодержание, окисляемость, общую жесткость, общую щелочность, содержание железа. Концентрации привнесенных со шламом веществ в водной вытяжке не

превысили нормативных значений, однако наблюдается некоторое увеличение общей жесткости (в 1,5 раза), кремнесодержания (в 2 раза), содержание железа (в 1,5 раза).

УДК 628.3

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НЕИОНОГЕННЫХ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ДЛЯ ЭКСТРАКЦИОННОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД**

А.Р. ГУМЕРОВА, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. хим. наук, доц. Н.К. ЛАПТЕДУЛЬЧЕ

Несмотря на все предпринимаемые методы глубокой очистки промышленных сточных вод, состояние природных водоемов стабильно ухудшается. Очевидно, что глобальным способом решения этой проблемы является организация замкнутой системы водопользования. С этой точки зрения повышается значение и перспективы использования регенерационных методов обезвреживания сточных вод, в частности, экстракции – процесса разделения смеси жидких или твердых веществ с помощью избирательных растворителей (экстрагентов).

Традиционно в качестве экстрагентов используют бензол, простые и сложные эфиры или более дешевые технические продукты: антраценовое масло, сырой бензол и др. В настоящее время этот процесс применяется в основном на локальных очистных сооружениях. Препятствием для широкого его применения при очистке сточных вод являются повышенная пожароопасность, токсичность экстрагентов и энергоемкость процесса их регенерации.

Целью данной работы является исследование в качестве экстрагентов неионогенных поверхностно-активных веществ, представляющих собой дифильные соединения, которые не диссоциируют в растворах и не образуют ионов. Они производятся отечественной химической промышленностью крупным тоннажем и характеризуются рядом полезных свойств практического характера: высокими температурами вспышки ( $> 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), воспламенения ( $> 240\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) и самовоспламенения ( $> 300\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), низкой летучестью ( $> 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), относятся к классу малотоксичных или практически нетоксичных веществ (3 класс опасности по ГОСТ 12.1.07). В отношении экологической чистоты важен

тот факт, что по степени биохимического разложения (до  $92 \pm 2$  %) они относятся к группе биологически «мягких» продуктов.

УДК 621.1.016

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕРМИЧЕСКИХ ДЕАЭРАТОРОВ

А.Н. ДОЛГОВ, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. А.Г. ЛАПТЕВ

Большой проблемой теплоэнергетики является неудовлетворительная работа деаэрационных установок для термической деаэрации питательной воды паровых котлов, из за чего происходит интенсивная внутренняя коррозия трубопроводов тепловых сетей, котлов и вспомогательного оборудования. Бывает, что вместо 20–30 лет тепловые сети служат пять лет.

В последние годы в практике отечественных и зарубежных предприятий сложилась устойчивая тенденция к замене устаревших контактных элементов (барботажных тарелок, насадок и т.п.) преимущественно в вакуумных и атмосферных колоннах на модернизированные или вновь разработанные виды насадок, обладающих более широким интервалом устойчивой работы и большей эффективностью.

В качестве примера был выполнен расчет насадочного аппарата, обеспечивающего необходимое качество деаэрации воды при заданной производительности. Были взяты насадочные деаэраторы со стальными кольцами Рашига 50х50, стальными кольцами Палля 50х50, керамические седла Инталокс 50мм и насадкой «Инжехим-2000», со степенью извлечения 0,99, заданными начальными концентрациями. Выполнен расчет деаэрации кислорода из воды, в результате получены деаэраторы следующих размеров.

№	Насадки	Диаметр колонны (м)	Высота насадки (м)
1	кольца Рашига 50х50	1,2	1,07
2	кольца Палля 50х50	1,0	1,19
3	седла Инталокс 50мм	1,2	0,81
4	«Инжехим-2000»	1,0	0,74

Исследования показали, что нерегулярная насадка «Инжехим-2000» является современной альтернативой кольцам Рашига и другим аналогичным насадкам. При равном разделении смесей она обеспечивает меньшую высоту слоя и большую производительность.

УДК 662.641

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ ТОРФА ОТ СПОСОБА ЕГО ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ**

А.Х. ЗИЯТДИНОВА, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. хим. наук, доц. Н.К. ЛАПТЕДУЛЬЧЕ

Известна эффективность торфа для очистки воды от нефтепродуктов. Однако природный торф-сырец содержит балластные водорастворимые примеси, поэтому нуждается в предварительной обработке, заключающейся в их удалении.

Целью данной работы явилось исследование влияния способа обработки торфа на его поглощающую и удерживающую способность по отношению к нефтепродуктам. В качестве объектов исследования были выбраны три типа образцов верхового торфа месторождения Богородское РТ: отмытый от балластных примесей промывкой водой, отмытый и обработанный острым паром при 200 °С и обработанный острым паром при 200 °С без предварительной отмывки водой.

По отношению к воде наиболее интенсивно поглощающим образцом является отмытый торф. В количественном же отношении отмытый и пропаренный образцы поглощают одинаковое количество воды. Отмыто-пропаренный торф во всем временном интервале поглощает на ~50 % меньше воды, то есть обладает большей олеофильностью, и поэтому наиболее пригоден для поверхностного сбора розливов нефти.

По отношению к нефти обработанный острым паром торф обнаружил самую низкую поглощающую способность. Образцы отмыто-пропаренного торфа, как и образцы отмытого торфа, обладают одинаковой поглощающей способностью, но отмытый торф обладает более высокой удерживающей способностью по отношению к нефти.

Следующим этапом работы явилось исследование кинетики процесса поглощения нефти в зависимости от массы образца сорбента и от концентрации водно-нефтяной эмульсии при фиксированной массе образца сорбента. Полученные экспериментальные данные

свидетельствуют о том, что наиболее эффективным при очистке водно-нефтяной эмульсии от нефти является образец торфа прошедший предварительную обработку кипячением и острым паром.

УДК 628.162.5

## **КОМПЛЕКСНАЯ ОЧИСТКА УХОДЯЩИХ ГАЗОВ ТЭС В НАСАДОЧНОМ АБСОРБЕРЕ**

А.Р. ИСХАКОВ, Т.М. ФАРАХОВ, КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. канд. хим. наук, проф. Э.Р. ЗВЕРЕВА

Охрана воздушного бассейна является актуальной проблемой защиты окружающей среды, так как загрязненный воздух обладает наибольшей пространственной мобильностью по сравнению с другими составляющими среды. При сжигании котельного топлива на ТЭС происходят выбросы вредных веществ в атмосферу – диоксида серы, оксидов азота, бенз(а)пирена, углекислого и угарного газов и др.

Предложено для очистки дымовых газов использовать аппараты насадочного типа, которые эффективнее полых вихревых аппаратов при относительно небольших расходах дымовых газов.

Был произведен расчет насадочного абсорбера из двух секций и глухой тарелкой между ними для комплексной очистки дымовых газов Казанской ТЭЦ-1 от диоксида серы, оксидов азота и диоксида углерода. В первой секции насадки происходит очистка от диоксида серы и оксидов азота, а во второй – от диоксида углерода. В качестве контактных устройств использовались нерегулярные насадки «Инжехим-2000».

Для очистки дымовых газов от углекислого газа была выбрана хемосорбция с использованием моноэтаноламина в качестве поглотителя, так как данный способ хорошо зарекомендовал себя в промышленности, химическая реакция в фазе абсорбента ускоряет процесс массоотдачи, требуются меньшие затраты при высокой степени улавливания диоксида углерода. Для абсорбции оксидов азота и диоксида серы предлагается использовать озонно-аммиачный метод, заключающийся во вводе в дымовые газы озона, который окисляет низшие малореакционные оксиды серы и азота ( $\text{SO}_2$  и  $\text{NO}$ ) до высших оксидов ( $\text{SO}_3$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}_5$ ), хорошо поглощаемых водой. В качестве абсорбента поглощения оксидов азота и диоксида серы в расчете использовалась техническая вода.

Выполнен расчет массообменной колонны для комплексной очистки дымовых газов Казанской ТЭЦ-1, которая обеспечивает высокую степень очистки газов от оксидов азота, оксидов серы и углекислого газа, имеет небольшие геометрические размеры.

УДК 621.187: 628.38: 667

## **СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ НЕОРГАНИЧЕСКОГО ХРОМАТИЧЕСКОГО ПИГМЕНТА**

С.А. КАЛЯПИНА, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. хим. наук, доц. Л.А. НИКОЛАЕВА

Авторами предлагается использование высушенного шлама химводоочистки (ХВО) в качестве пигмента при изготовлении лакокрасочных материалов.

Задачей, на решение которой направлено исследование, является получение дешевого неорганического хроматического пигмента, удешевление лакокрасочных материалов, улучшение их свойств, а также утилизация шлама.

Способ подготовки шлама перед его добавлением в состав лакокрасочного материала (в частности алкидной пентафталевой эмали) заключается в том, что высушенный ( $W = 3\%$ ) на ТЭС шлам размалывается на бисерной мельнице до достижения степени перетира 50 мкм. Экспериментальные исследования показали, что шлам легко вводится в эмаль до 50 массовых процентов.

При введении шлама в алкидную пентафталевую эмаль ПФ – 266 цвет покрытия, условная вязкость, степень перетира, блеск пленки соответствует нормам контрольного образца алкидной пентафталевой эмали с моногидратом оксида железа  $\alpha$ -формы. Внешний вид покрытия эмали имеет небольшие включения.

Полученная эмаль ПФ – 266 с пигментом, шламом может использоваться для покрытия пола при комнатной температуре (18–22 °С). В области энергетики шлам, образующийся при известковании и коагуляции сырой воды на водоподготовительной установке тепловых электрических станций, до настоящего времени с пользой не использовался. Но, учитывая его значительное количество, шлам может являться доступным и дешевым неорганическим хроматическим пигментом.

УДК 621.187

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫДЕЛЕНИЯ СВОБОДНОЙ УГОЛЬНОЙ КИСЛОТЫ ИЗ ИСХОДНОЙ ВОДЫ ПРИ ЕЁ КОАГУЛЯЦИИ СУЛЬФАТОМ АЛЮМИНИЯ В УСТАНОВКАХ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОЧИСТКИ**

Е.А. КАРПЫЧЕВ, ИГЭУ, г. Иваново  
Науч. рук. д-р техн. наук, проф. Б.М. ЛАРИН

На многих тепловых электрических станциях предварительная очистка воды осуществляется путем её коагуляции сульфатом алюминия с последующим механическим осветлением.

При гидролизе сульфата алюминия в воде появляется серная кислота, реагирующая с гидрокарбонатами с выделением свободной углекислоты. При этом массовая концентрация последнего превышает растворимость её в воде в контакте с воздухом. Начинается образование микропузырей свободной углекислоты, сопровождающее параллельно процесс образования пузырьков воздуха. Центром газовыделения являются частицы твердой фазы. Микропузыри газа прикрепляются к пористому веществу шлама и поднимают его к поверхности, тем самым вызывая процесс флотации.

На осветлителе коридорного типа (горизонтальный реагентный отстойник-сепаратор) максимальной проектной производительностью 300 м<sup>3</sup>/ч проведены исследования выделения свободной угольной кислоты. Особенностью осветлителя является отсутствие воздухоотделителя.

При работе осветлителя часть шлама флотируется за счет выделения микропузырьков свободной углекислоты, поэтому наблюдается его вынос и, как следствие, ухудшение качества обработанной воды. Распределение углекислоты по всему рабочему объему осветлителя примерно одинаковое, однако необходимо учесть, что чем дальше коагулированная вода находится от входа в осветлитель, в его рабочем объеме, тем меньше содержание свободной углекислоты за счет более долгого контакта с воздухом.

При дозировании коагулянта наблюдается значительное увеличение концентрации в воде свободной углекислоты, негативно влияющее на работу осветлителя. Повысить эффективность работы данного осветлителя можно за счет реализации системы воздухоотделения, либо использования

флокулянтов. Полученные данные следует использовать и для коррекции технологических расчетов, так как газовыделение в осветлителе уменьшает количество угольной кислоты, поступающей на декарбонизацию.

УДК 621.187

## **АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И ОБРАБОТКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ БАРАБАННЫХ КОТЛОВ СВД**

А.В. КОЛЕГОВ, ИГЭУ, г. Иваново

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.Б. ЛАРИН

На кафедре «Химии и химических технологий в энергетике» Ивановского государственного энергетического университета им. В.И. Ленина (ИГЭУ) группой сотрудников под руководством д.т.н., профессора Ларина Б.М. разработан алгоритм и программа косвенного определения ряда нормируемых и диагностических показателей состояния водно-химического режима (ВХР) барабанных котлов ( $p = 13,8$  МПа). К числу таких показателей относятся: концентрация аммиака в питательной воде, фосфатов – в котловой воде чистого и солевого отсеков, солесодержание и концентрация аммиака в паре.

В 2010 году проведены опытно-промышленные испытания на паровом котле Ивановской ТЭЦ-3 на базе штатных приборов автоматического химконтроля, в основном, производства НПО «ВЗОР» (г. Нижний Новгород) при активном участии персонала ИвТЭЦ-3.

По результатам исследований предложен объем автоматического химконтроля (АХК) за качеством теплоносителя энергетического котла для получения оперативной информации по нормируемым и диагностическим показателям в рамках системы химико-технологического мониторинга (СХТМ) состояния ВХР барабанного котла СВД.

Применение этой СХТМ на базе приборов АХК позволяет:

- вовремя диагностировать быстротекущие нарушения ВХР;
- корректировать в режиме реального времени концентрации реактивов (гидразин, аммиак) дозируемых в контур для поддержания ВХР;
- регулировать количество воды сбрасываемой с продувками солевых отсеков, таким образом, уменьшая потери на нагрев и подготовку добавочной воды;
- уменьшить количество воды сбрасываемой в дренаж из

пробоотборных линий из-за объема воды требуемого для приборов АХК;

- уменьшить заброс загрязненной воды в основной контур и как следствие уменьшить вероятность аварийных остановов оборудования и последующих затрат на ремонт.

УДК 620.193

## **ВЛИЯНИЕ КОРРОЗИИ НА ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ**

Е.В. КОЛЕСНИК, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, ст. преп. Е.С. СЕРГЕЕВА

Коррозия трубопроводов теплосети является одним из важных причин, определяющих надежность транспорта тепла в системах теплоснабжения. Увеличение коррозионной повреждаемости быть может в некой степени соединено с конфигурацией наружных факторов: продолжительности эксплуатации, температуры воды, содержания в ней хлорида и др. Однако, как указывает практика, при схожих наружных критериях сроки безаварийной эксплуатации трубопроводов могут значительно различаться. Это свидетельствует о том, что повреждаемость трубопроводов теплосети в значимой степени зависит от коррозионной стойкости сталей, применяемых для производства труб. Актуальность темы определяется ее направленностью на обеспечение безопасности, продление срока службы и повышение эффективности эксплуатации тепломеханического оборудования тепловых электростанций.

Для изучения коррозии и определения ее скорости мы провели эксперимент. В качестве образцов выступают пластины, изготовленные из углеродистой стали Ст3, а в качестве агрессивной среды выбрана вода из рек Кама, Зай и Волга.

Контроль над скоростью общей коррозии заключается в определении потери массы в результате коррозии с единицы площади образцов исследуемых металлов за единицу времени. Расчет скорости коррозии проводится по формуле:

$$K = 1,12 \cdot \frac{(P_1 - P_2)}{S \cdot t} \cdot$$

В конце эксперимента были построены графики зависимости скорости коррозии от времени. Все три водосточника являются агрессивной средой, но наиболее – вода реки Кама, за счет большого количества хлорид ионов, сульфат ионов и растворенного кислорода.

Наиболее действенным путем защиты теплотехнических трубопроводных систем от коррозионных повреждений является водоподготовка и организация водно-химического режима работы оборудования.

УДК 669.015

### **ВАРИАНТ МОДЕРНИЗАЦИИ УСТАНОВКИ РЕГЕНЕРАЦИИ ДИЭТИЛЕНГЛИКОЛЯ ПРИ ПРОЦЕССЕ ОСУШКИ ПРИРОДНОГО ГАЗА**

А.Н. КРЫЛОВА, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. А.Г. ЛАПТЕВ

Наиболее распространенный способ осушки природного газа осуществляется на специальной абсорбционной установке с использованием жидкого сорбента – диэтиленгликоля (ДЭГ), который обладает возможностью регенерации без потери его основных абсорбционных свойств. Модернизация тепло- и массообменных и сепарационных аппаратов с использованием высокоэффективных контактных устройств является все более актуальным направлением в различных отраслях промышленности и энергетике.

На большинстве предприятий в установке регенерации ДЭГа предусмотрены солесборники, предназначенные для удаления пластовых солей и отстоя из РДЭГа продуктов термического разложения. Это аппарат периодического действия с выдвижным коробом. Обессоленный и отстоянный РДЭГ отводится в буферную емкость.

Предлагается установить в солесборнике сепарационные блоки «Инжехим». Они выполняются в виде закрепленных в специальной каркасной конструкции пакетов тонких металлических пластин из нержавеющей стали. Геометрия пластин и их специально организованная ориентация в объеме позволяют в десятки раз увеличить эффективность и производительность реконструированных аппаратов. Повышение эффективности происходит за счет использования нескольких эффектов. Оригинальная перекрестная ориентация сепарационных пластин

эффективно секционирует объем аппарата, препятствуя образованию циркуляционных токов. Забиванию межпластинчатого пространства препятствует наклон пластин относительно горизонта.

Установка сепарационных блоков в солесборнике повысит эффективность удаления шлама и снизится время регенерации абсорбента.

УДК 661.62

## РАЗРАБОТКА СХЕМЫ ДОЗИРОВКИ ПРИСАДОК К ТОПОЧНЫМ МАЗУТАМ

А.Г. МИНЕЕВА, М.Ф. ЗАГИДУЛЛИНА, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. хим. наук, проф. Э.Р. ЗВЕРЕВА

Наличие в мазуте вредных примесей, вызывает генерацию вредных выбросов в атмосферу, коррозию и загрязнение рабочих поверхностей, уменьшение теплопередачи. Одним из методов улучшения качества мазута является использование присадок. Эффективное действие присадок может быть достигнуто лишь при соблюдении правил эксплуатации котельных установок и правильной дозировки присадки.

В условиях эксплуатации мазутного хозяйства как основного, мы предлагаем подачу присадки в основной мазутный резервуар по следующей схеме (рис. 1).

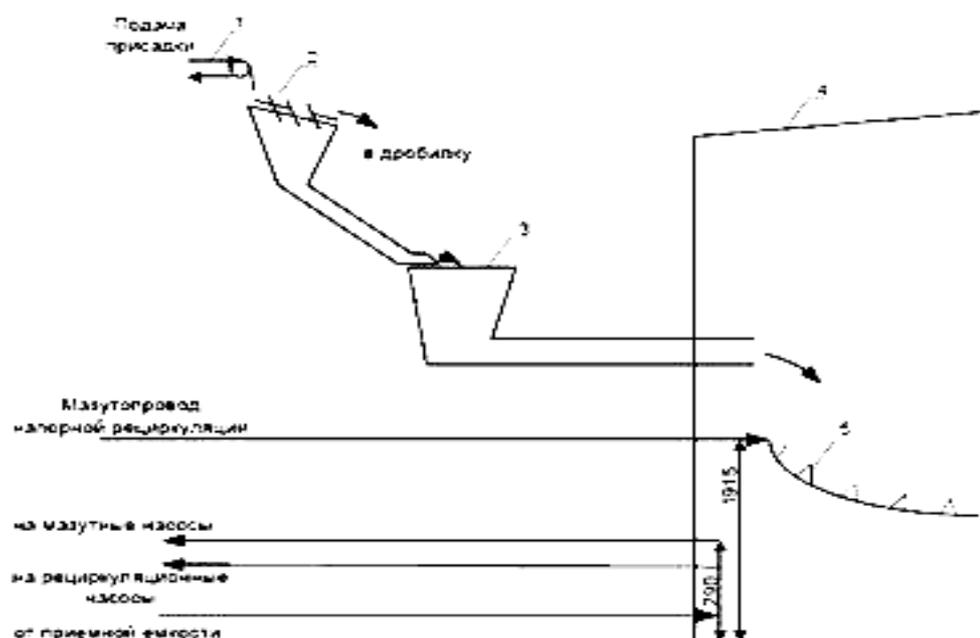


Рис. 1. Принципиальная схема дозирования присадки в мазутный резервуар, где 1 – питатель; 2 – грохот; 3 – шнековый дозатор присадки; 4 – основной резервуар мазута; 5 – сопла

В этом случае присадка подается весовым шнековым дозатором и смешивается с мазутом, во-первых, за счет распыления мазута соплами, во-вторых, за счет подогрева мазута до 70–90 °С и его циркуляции в объеме резервуара, и в-третьих, за счет контура рециркуляции (насосов рециркуляции).

УДК 628.3

## **ПРОБЛЕМЫ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ ОАО «НЭФИС»**

Е.В. МИХАЙЛОВА, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. хим. наук, доц. Н.К. ЛАПТЕДУЛЬЧЕ

Проблема рационального использования водных ресурсов и минимизации техногенного воздействия на окружающую среду особенно актуальна для таких мощных промышленных регионов, как РТ. Примером может служить предприятие ОАО «НЭФИС», созданное на основе построенного в 1855 году стеариново-свечного завода. Сточные воды этого предприятия направляются на городские очистные сооружения и затем – в оз. Кабан, ухудшая его состояние. Решение этой проблемы осложняется тем, что строительство новых очистных сооружений требует значительных материальных затрат и не всегда приемлемо из-за стесненности в производственных площадях.

Анализ ВХК ОАО «НЭФИС» позволяет заключить, что повышение эффективности системы его водопользования может быть осуществлено двумя путями: разработкой и проектированием компактной высокоэффективной системы очистки сточных вод с использованием новейших методов и аппаратов, или же созданием замкнутой системы водопользования. В настоящее время с учетом степени загрязненности оз. Кабан второй вариант кажется более предпочтительным. Отличительной особенностью промышленных сточных вод ОАО «НЭФИС» является высокое содержание жиров, масел и других органических загрязнений, негативно влияющих на водные экосистемы и создающие серьезную проблему эксплуатации канализационных сетей из-за образования на их внутренних поверхностях трудно удаляемых жировых отложений, нарушающих нормальный гидравлический режим.

На предприятии организованы две системы очистки сточных вод: локальная очистка жиросодержащих стоков мыловаренного и СМС – цеха методом напорной флотации и локальная очистка сточных вод гидрогенизационного цеха от избытка никеля и меди методом гальванокоагуляции. Метод гальванокоагуляции уже позволяет создать замкнутую систему водопользования цеха гидрогенизации жиров, а для разработки мероприятий по очистке масло- и жиросодержащих сточных вод необходимо предусмотреть более эффективные по степени извлечения примесей методы очистки с учетом рационального способа их утилизации.

УДК 66.081.62

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОМЫШЛЕННОГО АППАРАТА ДИАФРАГМЕННОГО ЭЛЕКТРОЛИЗА**

Э.К. МУХАМЕТГАЛЕЕВА, И.Г. АБУЛЬХАЕРОВА, Н.С. ЗАХАРОВ,  
КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Е.О. ШИНКЕВИЧ

Экспериментальные данные по изменению жесткости воды в аппарате диафрагменного электролиза с искусственным насыщением воды углекислотой позволяют судить о целесообразности внедрения предлагаемой схемы в системы водоподготовки энергетических объектов.

Исходными данными для расчета электролизных установок являются:

- назначение установки (опреснение соленых вод для хозяйственно-питьевых нужд, для промышленных нужд, умягчение пресных вод перед полным обессоливанием, частичное обессоливание сточных вод и др.);

- полезная пропускная способность установки по пресной (частично обессоленной) воде;

- характеристика водоисточника (дебит, возможность подачи воды на собственные нужды установки и т.д.);

- физико-химический анализ исходной воды, который должен включать в себя значения таких показателей как удельная электрическая проводимость, температура воды, содержание железа и марганца, окисляемость, жесткость общая и карбонатная.

Основной задачей расчета аппарата диафрагменного электролиза является определение напряжения и силы тока, подводимого к электродам,

а также площади диафрагмы и их количества. Для проведения проектировочного расчета промышленного аппарата ЭХУ предлагается методика, которая включает в себя следующие расчеты:

- расчет конструктивных и энергетических параметров;
- расчет гидравлических характеристик работы аппарата;
- расчет экологических показателей.

Ресурсосбережение и приемлемый срок окупаемости внедряемого оборудования позволяет судить о конкурентоспособности предлагаемой электролизной технологии водоподготовки для мини-ТЭЦ и котельных наряду с традиционными способами водоочистки в условиях постоянного увеличения себестоимости очищенной воды.

УДК 628.316: 665

## **ИССЛЕДОВАНИЕ КОАЛЕСЦИРУЮЩИХ СВОЙСТВ БЕНЗОМАСЛОСТОЙКОГО ПЕНОПОЛИУРЕТАНА ПРИ ОЧИСТКЕ ВОДЫ ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ**

Э.И. НАБИУЛЛИНА, КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. канд. хим. наук, доц. Г.Г. САФИНА

Как известно, очистку нефтесодержащих вод от механических примесей и нефтепродуктов осуществляют преимущественно методом отстаивания. Однако при этом часто возникает проблема выделения из устойчивых малоцентрированных водонефтяных эмульсий эмульгированных частиц нефтепродуктов размером несколько микрон. Одним из наиболее перспективных и эффективных способов интенсификации процесса отстаивания является использование процесса коалесценции, как метода предварительной обработки нефтесодержащих вод. Достоинствами данного метода являются простота конструктивного оформления, высокая эффективность и экономичность.

С целью расширения спектра фильтрующих материалов, используемых при разделении водонефтяных эмульсий, были проведены исследования коалесцирующих свойств бензомаслостойкого пенополиуретана после предварительного насыщения его углеводородной фазой.

Анализ полученных экспериментальных данных показывает, что фильтрование эмульсии «вода-керосин» через предварительно насыщенный керосином бензомаслостойкий пенополиуретан способствует

существенному увеличению скорости отстаивания фильтрата по сравнению с исходной эмульсией, что свидетельствует о проявлении коалесцирующих свойств данного материала. При этом эффект очистки воды повышается как минимум на 25 % по сравнению с традиционным отстаиванием.

УДК 628.3

## **ВНЕДРЕНИЕ БИОСОРБЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПРИ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДА ПРОИЗВОДСТВА ТЭС**

Р.Я. НЕДЗВЕЦКАЯ, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. хим. наук, доц. Л.А. НИКОЛАЕВА

В настоящее время в отечественной энергетике особую актуальность приобрел вопрос утилизации отходов производства, к которым в данном направлении промышленности относятся: газовые примеси, сточные воды энергопредприятий, топливные золошлаковые отходы, недопал извести и шлам водоподготовительных установок. Процесс водоподготовки выступает в качестве обязательной стадии, обеспечивающей нормальное функционирование различных аппаратов в производственном цикле ТЭС. Шлам осветлителей ХВО является продуктом известкования и коагуляции на стадии предварительной очистки воды.

Традиционно в энергетике шлам осветлителей складывается и временно накапливается в шламоотвалах, таким образом значительные объемы шлама, накопленные в течение десятилетий, представляют серьезную проблему для ТЭС. В настоящее время известны различные пути утилизации шлама водоподготовки ТЭС: использование отхода в строительной индустрии, при производстве резинотехнических изделий, в агрохимии, при производстве извести и др.

В данной работе рассматривается новое направление утилизации карбонатных шламов – применение его на станции очистки сточных вод промышленных предприятий при биологической очистке сточных вод в качестве сорбента. Введение шлама в количестве  $600 \text{ мг/дм}^3$  позволило снизить в осветленных водах концентрации фосфатов в среднем на 89 %, аммонийного азота на 60 %, значения БПК на 88 %, значения рН с 7 до 6,2, а так же ХПК на 40 %. Высокая сорбционная способность шлама позволяет предположить, что при введении осадка в сточные воды на его

поверхности активно сорбируются примеси сточных вод и микроорганизмы активного ила, что позволяет интенсифицировать процесс биологической очистки.

Таким образом, при введении шлама в аппаратах биологической очистки реализуется процесс биосорции, который с минимальными затратами позволит повысить эффективность биологической очистки промышленных предприятий до ПДК, установленных для рыбохозяйственных водоемов.

УДК 621.187

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО ХИМКОНТРОЛЯ ВОДНОГО РЕЖИМА II КОНТУРА АЭС С ВВЭР**

М.П. САВИНОВ, ИГЭУ, г. Иваново

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.Б. ЛАРИН

Система контроля и управления водно-химического режима (СКУ ВХР) второго контура предназначена для оперативного контроля показателей качества рабочей среды энергоблока с реактором ВВЭР-1000. Объем химконтроля (ХК) разработан на стадии технического проектирования СКУ ВХР второго контура. В данной работе использован метод косвенного определения концентраций ионогенных показателей качества воды, разработанный в ИГЭУ.

В качестве основы для косвенного определения нормируемых и диагностических показателей в водах типа конденсата выбрана измерительная система наиболее надежных измерений: удельной электропроводности прямой ( $\sigma_{\text{пр}}$ ) и Н-катионированной проб ( $\sigma_{\text{Н}}$ ), а также показателя рН, определяемых практически одновременно из одной пробы охлажденного теплоносителя. Аналогичный подход принят за рубежом.

Одной из ключевых задач в организации ХК второго контура является разработка систем контроля качества продувочной воды парогенераторов и качества очищенной на СВО-5 этой продувочной воды. Проверка разработанной методики проводилась на действующей установке очистки продувочной воды парогенераторов энергоблока АЭС с реакторами ВВЭР-1000. Анализ полученных результатов осуществляется сравнением расчетных данных с аналитическими измерениями концентраций примесей. Наряду с ионами натрия с концентрацией 100–300 мкг/кг в поступающей воде на СВО-5 определена суммарная

концентрация анионов сильных кислот составляла около 10 мкг-экв/кг, т.е. в пересчете на хлориды 355 мкг/кг. В обработанной (обессоленной) воде концентрация хлоридов определяется на уровне 10–20 мкг/кг. Разовый анализ, проведенный ВНИИ АЭС, дал следующие результаты:  $[ \text{Cl}^- ] = 7,5$  мкг/кг и  $[ \text{SO}_4^{2-} ] = 25,6$  мкг/кг для рабочего режима эксплуатации фильтров. Полученные расчетные данные в целом согласуются с усредненными данными химанализа примесей поступающей и обработанной воды на СВО-5. Это дает основание считать возможным применение разработанного метода для автоматического химконтроля обработки воды на СВО-5.

УДК 532.529.5

## **ТЕЧЕНИЕ МОНОДИСПЕРСНОЙ СМЕСИ В ОГРАНИЧЕННЫХ ОБЛАСТЯХ**

Н.З. СЕРАЗЕТДИНОВ, КазНЦ РАН, г. Казань  
Науч. рук. д-р техн. наук В.Л. ФЕДЯЕВ

Эффективная работа технологического оборудования во многом зависит от качества оборотной воды. Один из важных этапов ее подготовки на производстве – очистка от механических примесей. При этом используются различные типы установок в зависимости от требований, предъявляемых к качеству воды. Их совершенствование является актуальной задачей на сегодняшний день.

Одним из направлений решения этой задачи является математическое моделирование процессов, протекающих при очистке, и дальнейшая оптимизация конструктивных параметров, режимов работы установок. Для описания этих процессов используются математические модели движения многофазных сред в областях сложной формы, фильтрации жидкостей через проницаемые перегородки, взаимодействия частиц примесей с препятствиями. Выявление особенностей поведения жидкости с частицами вблизи препятствий, а также исследование влияния частиц на гидродинамическое сопротивление решеток важно при математическом моделировании фильтров.

В настоящей работе было исследовано течение жидкости и поведение частиц вблизи решетки в зависимости от плотности частиц и формы расчетной области. Также выявлено влияние стеснения области на характеристики потока.

УДК 66.021.3

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПЕРВАПОРАЦИИ

О.А. СЕРГЕЕВА, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. А.Г. ЛАПТЕВ

Термин «первапорация» означает испарение жидкостей через мембрану. Процесс состоит в том, что на поверхности жидкости находится мембрана, а пермеат в виде пара отводится током инертного газа, либо конденсируется, попадая в охлаждаемую вакуумированную ловушку. Движущей силой процесса переноса компонента через мембрану является градиент химического потенциала этого компонента в направлении, перпендикулярном к поверхности мембраны. Механизмом переноса веществ через непористые полимерные мембраны в процессах испарения через мембрану является сорбционно-диффузионный механизм.

Для первапорации используются в основном асимметричные мембраны, где тонкий активный мембранный слой наносится на полимерную основу. Тонкий слой мембраны первапорации обуславливает селективность мембраны, на которой и основа очистка первапорацией. Слой же полимеров служит для придания механической прочности чувствительной мембране первапорации, без которого воздействие давления нанесло бы мембране непоправимый вред.

Применение технологий первапорации улучшает технико-экономические показатели работы производства:

1. Метод испарения через мембрану при очистке является безреагентным.
2. Снижение энергозатрат при очистке.
3. Высокая эффективность процесса по сравнению с альтернативными процессами разделения и возможность разделения азеотропных смесей.
4. Возможность использования низкопотенциального тепла.
5. Эксплуатационные преимущества.

Первапорация может применяться в самых разных областях промышленности: химия, нефтехимия, нефтегазопереработка, медицина и др.

УДК 665.632

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОСУШКИ ПРИРОДНОГО ГАЗА В АДСОРБЕРЕ

М.М. ТАРАСКИН, КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. д-р техн. наук, проф. А.Г. ЛАПТЕВ

Природный газ, подаваемый в магистральный газопровод, должен быть очищен от механических и агрессивных химических примесей и осушен. Для осушки используют методы абсорбции и адсорбции. Ниже рассмотрена одномерная нестационарная математическая модель процесса адсорбции.

Пусть вдоль слоя адсорбента с линейной скоростью  $w$  движется поток газа, содержащий адсорбированную примесь с концентрацией  $c_n$ . На входе в слой поддерживается постоянная концентрация примеси  $c_0$ . Принимая, что слой первоначально не был заполнен адсорбируемой примесью, и, обозначая через  $\rho$  количество примеси, поглощаемое единицей объема адсорбента, а через  $c_n(x, \tau)$  – концентрацию примеси в потоке, находящимся между зернами адсорбента в слое на расстоянии  $x$  от входа в слой в момент  $\tau$ , запишем уравнение, описывающее динамический процесс адсорбции:

$$\frac{\partial c_n}{\partial \tau} = -w \frac{\partial c_n}{\partial x} - \frac{\partial \rho}{\partial \tau} + D^* \frac{\partial^2 c_n}{\partial x^2}.$$

Данное уравнение описывает баланс адсорбированного вещества между твердой и газовой фазами. Кинетика процесса переноса примеси из потока жидкости внутрь зерен адсорбента:

$$\frac{\partial \rho}{\partial \tau} = \beta_0 [c_n - c_{\text{равн}}(\rho)].$$

Изотерма адсорбции определяется выражением  $c_{\text{равн}} = f(c_n, \tau)$ .

Граничные и начальные условия математической модели при первоначально наполненном слое:

при  $x=0, c_n = c_0$  ;

при  $\tau=0, \rho=0, c_n=0, \partial c_n / \partial x = 0$  .

Уравнение массопереноса решается численно.

Представленная математическая модель используется для расчета эффективности осушки газа на установках комплексной подготовки природного газа на месторождениях Западной Сибири и Крайнего Севера.

УДК 662.162.16

## **ПРИМЕНЕНИЕ СЕРНИСТОГО НЕФТЯНОГО КОКСА В КАЧЕСТВЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ТОПЛИВА**

М.Р. ФАТКУЛЛИН, В.В. ЗАПЫЛКИНА, УГНТУ, г. Уфа

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. Б.С. ЖИРНОВ;

канд. техн. наук А.Н. МОРОЗОВ

В России нефтяной кокс получают преимущественно на установках замедленного коксования. Главные потребители кокса – анодная и электродная отрасли, предъявляют жесткие требования к структуре кокса и содержанию серы, поэтому на нефтеперерабатывающих заводах России в качестве основного сырья коксования используют вторичные малосернистые остатки. Тяжелые сернистые вакуумные остатки – гудроны находят применение лишь в производстве битумов и котельного топлива. При этом коксование гудронов позволит при наименьших затратах значительно увеличить глубину переработки нефти, а побочный продукт – сернистый кокс возможно использовать в качестве твердого топлива на тепловых электростанциях (ТЭС).

Высокая сернистость нефтяного кокса создает опасность появления на пылеугольных котлах тепловых электростанций проблем, характерных для мазутных котлов – высокотемпературной сероводородной коррозии, низкотемпературной сернокислотной коррозии в конвективной шахте котла, увеличенного выброса в атмосферу сернистого ангидрида.

Представляет интерес пропитка сернистых нефтяных коксов растворами соединений щелочных и щелочноземельных металлов. Это позволяет снизить содержание сернистых соединений в дымовых газах топок. Например, в качестве адсорбента  $SO_2$  в кипящий слой добавляют известняк  $CaCO_3$  или доломит ( $CaCO_3+MgCO_3$ ) при термическом разложении которых образуются  $CaO$  и  $MgO$ . При этом образуется безвредный практически нерастворимый в воде гипс, который удаляется из топки вместе с золой и не доставляет неприятностей при его хранении в золоотвалах (не вымывается дождем или грунтовыми водами).

Нами были проведены опыты по снижению содержания летучих соединений серы в продуктах сгорания нефтяного кокса. В результате исследований было установлено, что применение в качестве топлива сернистого нефтяного кокса, пропитанного соединениями щелочных и щелочноземельных металлов, позволит решить экологические проблемы на ТЭС, использующих природные энергетические угли, такие как: значительные выбросы бенз(а)пирена, повышенный выход топливной золы – до 40 % от массы угля, механический недожог угля и, как следствие, выбросы углеродных частиц – сажи.

УДК 621.187

## **АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ОБУЧАЮЩАЯ СИСТЕМА «ВОДНО-ХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ I КОНТУРА АЭС С ВВЭР-1000»**

Р.О. ШАТСКИХ, ИГЭУ, г. Иваново

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. Б.М. ЛАРИН

В ИГЭУ смонтирован и введен в эксплуатацию полномасштабный тренажер блочного щита управления энергоблока АЭС с ВВЭР-1000. В рамках освоения тренажера авторским коллективом разработана комплексная программа. Основным назначением программы является обучение студентов специальностей «Технология воды и топлива на ТЭС и АЭС» и «Атомные электростанции» ведению водно-химического режима I контура АЭС. В рассмотрение включены следующие задачи:

- 1) выполнение химического контроля качества теплоносителя первого контура и его вспомогательных систем;
- 2) обеспечение требуемого качества теплоносителя и подпиточной воды первого контура;
- 3) выявление и устранение отклонений от требований норм качества теплоносителя и подпиточной воды первого контура.

Созданная автоматизированная обучающая система (АОС) состоит из двух частей: информационной и тестирующей. Информационная часть включает следующие разделы: характеристика и назначение ВХР-1, узлы дозирования реагентов, установки спецводоочистки. Тестирующая часть АОС предназначена для контроля степени усвоения знаний студентом.

В лабораторных работах рассматриваются действия персонала химического цеха при различных состояниях реактора. При этом затрагиваются именно водно-химические составляющие этого процесса.

Лабораторные работы состоят из трех частей: теоретической, информационной и практической.

Программа создана для глубокого изучения студентами методов и средств ведения водно-химического режима I контура. В ней содержится основная информация по ВХР-1 и системам его поддержания. АОС – наиболее универсальный способ изучить тему и подготовиться практически к реальной эксплуатации сложных систем обеспечения ВХР первого контура АЭС с ВВЭР-1000.

## **СЕКЦИЯ 7. ТЕПЛОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ**

УДК 621.311.22:621.187

### **ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СИСТЕМЫ ОБОРОТНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ С ГРАДИРНЯМИ НА ТЭС**

С.М. ВЛАСОВ, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р, хим. наук, проф. Н.Д. ЧИЧИРОВА

Система оборотного охлаждения (СОО) получила большое распространение в мире. Ее использование позволило проектировать ТЭС в местах, где есть недостаток водного ресурса. СОО имеет сложную специфическую структуру, в которой присутствуют следующие проблемы: утечки, капельный унос, нарост на трубных поверхностях минеральных отложений, протекания коррозионных процессов в трубных системах. Решение этих проблем является экономически выгодным для станции. Из чаши градирни происходит испарение, выброс чистой воды в атмосферу, при этом соли жесткости (Ca, Mg), щелочность остаются в рабочем объеме. При капельном уносе, утечках и испарении приходится добавлять воду в систему для поддержания уровня воды в СОО, для уменьшения солей, щелочности, pH и других показателей производят продувку системы. При концентрации в охлаждающей воде способного к распаду гидрокарбоната кальция на уровне 1,0–1,5 мг-экв/л рост толщины накипи на трубных поверхностях конденсаторов составляет 0,3–0,5 мм/год. При этом коэффициент теплопередачи уменьшается более чем в 3,5 раза, а гидравлическое сопротивление увеличивается до 15 %. Для предотвращения нароста на трубных поверхностях СОО минеральных, биологических отложений и протекания коррозионных процессов, в

основном используют химические, механические методы очистки воды. На ТЭС применяются следующие реагенты: Активос 640 Т, Турбодиспин Д 80, Турбанион М101, Турбанион М104, Корродекс 900, ОЭДФ, ПАВ, ИОМС-1. Современные многокомпонентные ингибиторы – это реагенты дорогостоящие и стоит проблема минимизации их расхода. Использование механических методов включает вид шарикоочистки трубок конденсаторов. Оптимизация ВХР СОО актуальна на сегодняшний день. Оптимизировать режим работы СОО можно с помощью автоматизированной системы управления тепловыми процессами (АСУ ТП). Автоматизация СОО способствует более точному ведению режима, дозировки реагентов, заметному сокращению времени (занимаемое персоналом в работе системы). При этом уменьшается себестоимость электрической энергии и возрастает экономичность станции.

УДК 621.311

## **СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ИСХОДНОЙ ВОДЫ НА ЛИНИИ ПОДАЧИ К УСТАНОВКЕ ОБРАТНОГО ОСМОСА**

Т.Ф. ГАЙНУТДИНОВ, А.Ю. СМИРНОВ, КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.Ю. СМИРНОВ

На ЗайГРЭС используется современная технология водоподготовки, включающая установку ультрафильтрации (УУФ) и установку обратного осмоса (УОО). Для усиления эффекта осветления и степени извлечения органических соединений перед УУФ предусмотрено коагулирование воды (предочистка). На этой стадии в воду добавляют оксихлорид алюминия (коагулянт) и гипохлорит натрия (окислитель). При этом необходимо, чтобы на мембраны УУФ и УОО не попадали вещества, способные «отравить» мембраны – это соединения железа, алюминия, тяжёлые металлы; разрушить мембраны – активный хлор.

Целью работы является проведение теоретического и экспериментального исследования для обоснования оптимального режима предочистки в условиях сезонного колебания состава «сырой» воды. При этом оптимальный режим предполагает минимизацию наиболее опасных компонентов предочищенной воды для мембранных элементов УУФ при разумном использовании реагентов. Для достижения поставленной цели также предполагалась организация непрерывного, автоматизированного

контроля за качеством воды, поступающей на УУФ и УОО и очищенной воды.

Осенью 2010 года в цехе ультрафильтрации и обратного осмоса ЗайГРЭС установлены: автоматический анализатор-сигнализатор активного хлора 9184sc; автоматический анализатор-сигнализатор мутности Ultraturb plus.

Установка данных анализаторов-сигнализаторов позволила вести требуемый контроль показаний содержания взвешенных коллоидных веществ, концентрации активного хлора и рН воды, а также соответствовать нормативным значениям, установленным инструкцией по эксплуатации. Данное мероприятие значительно повышает срок службы мембранной установки и снижает расход реагентов на коагуляцию и удаление избытка активного хлора, что с экономической точки зрения, предполагает высокую финансовую выгоду.

УДК 621.311.22:543.257.1

## **ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФАЗОВОЙ НЕСТАБИЛЬНОСТИ ВОДНЫХ СИСТЕМ НА ТЭС**

Л.И. ГАЙНУТДИНОВА, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р хим. наук, проф. А.А. ЧИЧИРОВ

При производстве тепловой и электрической энергии на современных ТЭС оперируют с водными системами, имеющими постоянно продуцирующую фазовую нестабильность. Это (1) водные системы на промежуточных стадиях водоподготовки, – в частности, известково-коагулированная или осветленная вода, (2) охлаждающая вода в системе оборотного охлаждения (СОО) и (3) водный теплоноситель в сопряженных тепловых сетях. Все эти системы характеризуются наличием стабилизированной твердой фазы, главным образом, карбоната кальция, способностью в определенных условиях к образованию кристаллической фазы. Этот процесс относится к нежелательным, поскольку может приводить к появлению плотных отложений на поверхностях теплообмена.

В настоящее время отсутствует методика количественного определения стабилизированного карбоната кальция в водных системах ТЭС.

Методом потенциометрического титрования, с использованием

данных расчета химических равновесий по написанной ранее прикладной компьютерной программе, разработана методика количественного определения стабилизированного карбоната кальция в водных системах сложного состава. По методике строятся зависимости в координатах  $\delta pH / \delta V_{HCl} - V_{HCl}$  и  $\delta pH / \delta V_{HCl} - pH$ . На графиках обнаруживаются пики, характерные для  $CO_3^{2-}$ ,  $HCO_3^-$ ,  $CaCO_3$ .

Соотношение пиков производится сопоставлением с результатами компьютерного расчета.

УДК 621.18:533.36

## РЕЗУЛЬТАТЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОВОЗДУШНОГО РЕЖИМА ГЛАВНОГО КОРПУСА ТЭС

А.Ю. ГИЛЬМУТДИНОВ, ИГЭУ, г. Иваново  
Науч. рук. д-р техн. наук, проф. В.В. БУХМИРОВ;  
канд. техн. наук, доц. Д.В. РАКУТИНА

Разработана математическая модель тепловоздушного режима главного корпуса Костромской ГРЭС с блоками 300 МВт [1]. Адекватность математической модели проверена путем сопоставления с результатами экспериментального исследования тепловоздушного режима КГРЭС [2]. Получено удовлетворительное совпадение результатов расчета и эксперимента.

Результаты расчета на математической модели представлены в виде регрессионной зависимости температуры воздуха внутри помещения ( $T_{вн}$ ) от количества воздуха, забираемого дутьевыми вентиляторами из котельного отделения ( $G_{дв}^{ном}$ ), нагрузки системы теплоснабжения ( $Q_{тс}$ ) и температуры наружного воздуха ( $T_{нн}$ ). Уравнения регрессии получены методом полного факторного эксперимента. С использованием полученных уравнений построены графики зависимости  $G_{дв}^{ном} = f(T_{нн}, Q_{тс})$  при разных  $T_{вн}$ . Графики позволяют подобрать такие значения количества воздуха, забираемого из помещения и нагрузки приборов системы теплоснабжения, при которых температура воздуха внутри помещения будет соответствовать допустимой при заданной температуре наружного воздуха.

При помощи математической модели проведено исследование влияния проницаемости оконных проемов на температуру внутри главного корпуса ТЭС. Выявлен значительный резерв (до 50 %) уменьшения

тепловой нагрузки приборов системы теплоснабжения за счет уплотнения оконных проемов турбинного отделения при соблюдении требуемых СанПиН температур в рабочих зонах.

По результатам математического моделирования разработаны рекомендации по повышению экономичности электрической станции за счет выбора рациональных тепловых нагрузок приборов системы теплоснабжения и оптимизации количества воздуха, забираемого дутьевыми вентиляторами из котельного отделения.

Литература:

1. Гильмутдинов А.Ю. Математическое моделирование системы аэрации главного корпуса ТЭС // М-лы докл. V международной молодежной науч. конф. «Тинчуринские чтения» / А.Ю. Гильмутдинов, В.В. Бухмиров, Д.В. Ракутина. Под ред. Ю.Я. Петрушенко. – Казань: ГОУ ВПО «КГЭУ», 2010. Т. 2. – 164–165 с.

2. Бухмиров В.В. Экспериментальное исследование системы аэрации главного корпуса Костромской ГРЭС // Вестник ИГЭУ / В.В. Бухмиров, Д.В. Ракутина, А.Ю. Гильмутдинов. – Иваново: ГОУ ВПО «ИГЭУ имени В.И. Ленина», 2007. Вып. 1. – 14–18 с.

УДК 621.187

## **ПРОБЛЕМАТИКА ПРОЦЕССА РЕАГЕНТНОЙ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОЧИСТКИ ИСХОДНОЙ ВОДЫ НА ТЭС**

А.А. ЕЛИСЕЕВ, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р хим. наук, проф. Н.Д. ЧИЧИРОВА

Наиболее распространенным методом предварительной очистки воды на ТЭС является реагентная обработка воды методом совместного известкования-коагуляции. Если очистка воды от тяжелых грубодисперсных примесей может быть принципиально осуществлена обычным отстаиванием, время которого определяется размером и удельной массой частиц, то коллоидные примеси за счет их особого свойства (агрегативной устойчивости) могут быть выделены из воды только методом коагуляции. На сегодняшний день дозу коагулянта, которую рассчитать практически невозможно, устанавливают с помощью пробных коагуляций – добавлением в исходную воду разных доз коагулянта и замером остаточной перманганатной окисляемости воды.

Дополнительные трудности при очистке вод поверхностных источников возникают из-за сезонных колебаний качества исходной воды, в период весеннего половодья, когда щелочность исходной воды снижается до 0,2–0,5 мг-экв/дм<sup>3</sup>. Летом в исходной воде возрастает количество органических веществ и соответственно увеличивается оптимальная доза коагулянта, что приводит к значительному увеличению грязевой нагрузки на фильтры и контактные осветлители и сокращению продолжительности фильтроцикла. В особо неблагоприятные сезоны продолжительность фильтроциклов может сокращаться до 1,5–3 часов.

Для повышения эффективности процесса очистки предложена методика предварительного расчета дозы извести и коагулянта, с учетом показателей качества исходной воды.

Разработана математическая модель и программный комплекс, которые позволяют давать адекватное описание стадии реагентной предварительной очистки воды на тепловых электрических станциях и многих других объектах, на которых применяются водоподготовительные установки, а также проводить оптимизацию режимов работы в процессе эксплуатации.

С помощью математической модели проведены технико-экономические расчеты стадии предварительной очистки воды на Казанской ТЭЦ-3. Выданы рекомендации по оптимизации режима предочистки воды, который может привести к существенной экономии химических реагентов на ТЭЦ.

УДК 621.311.22

## **АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПГУ-325 В ПЕРЕМЕННЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ**

Т.А. ЖАМЛИХАНОВ, ИГЭУ, г. Иваново  
Науч. рук. канд. техн. наук, проф. Б.Л. ШЕЛЫГИН;  
д-р техн. наук, проф. А.В. МОШКАРИН

В исследовании получены статические характеристики энергоблока ПГУ-325 ОАО «Ивановские ПГУ», в состав которого входит следующее основное оборудование:

- две газотурбинные установки ГТЭ-110 производства ОАО «НПО САТУРН»;

- котел-утилизатор (КУ) марки «П-88» (Е-155/35-7,2/0,7-501/231) производства ОАО «ИК ЗиОМАР»;
- конденсационная паротурбинная установка К-110-6,5 производства ОАО «Силовые машины ЛМЗ».

Расчетный анализ проводился в интервале относительных нагрузок ГТУ  $(0,3 \div 1)N_{\text{ном}}$  для диапазона температур наружного воздуха  $t_{\text{нар}} = -38 \div +38$  °С при использовании в качестве топлива природного газа с теплотой сгорания  $Q_{\text{г}}^{\text{р}} = 49,4$  МДж/кг.

При снижении нагрузки ПГУ до минимальной возможны два режима:

- 1) дубль-блочный при снижении нагрузки каждой ГТУ до минимально допустимого значения  $N_{\text{ГТУ}}^{\text{мин}} = 55$  МВт;
- 2) моноблочный при останове одной и повышении нагрузки другой ГТУ до номинального значения  $N_{\text{ГТУ}}^{\text{ном}} = 110$  МВт.

В обоих вариантах режимах работы ПГУ-325 суммарная электрическая нагрузка газовых турбин составляет 110 МВт. Для моноблочного режима и неизменной  $N_{\text{ГТУ}}$  постоянство общей мощности ПГУ (159÷163 МВт) при  $t_{\text{нар}} = 0 \div 15$  °С в случае снижения температуры газов на входе в КУ на 21 °С обеспечивается повышением расхода газов от 365 до 376 кг/с.

Наибольшее значение КПД ПГУ 51÷51,9 % достигается при работе в моноблочном режиме. Дубль-блочный режим при мощности ПГУ 163÷168 МВт снижает КПД до 42,6÷43,0 %, таким образом, при пониженной нагрузке дубль-блочный режим менее предпочтительный.

УДК 621.311.22

## **ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ПГУ-410 НА ЧАСТИЧНЫХ НАГРУЗКАХ**

Т.А. ЖАМЛИХАНОВ, ИГЭУ, г. Иваново

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. А.В. МОШКАРИН

Одним из ключевых направлений развития отечественной теплоэнергетики является внедрение парогазовых установок (ПГУ). ОАО «ЮГК ТГК-8» реализует проект расширения Краснодарской ТЭЦ парогазовым блоком мощностью 410 МВт. В состав основного оборудования блока входят:

1. Газовая турбина (ГТУ) промышленного типа модели M701F4 (изготовитель – Mitsubishi Heavy Industries, Ltd) мощностью 303,4 МВт (при температуре наружного воздуха +15 °С и относительной нагрузке 100 %).

2. Котел-утилизатор (КУ) Еп-307/353/41,5-12,6/3,1/0,5-565/560/250 (изготовитель ОАО «ЭМАльянс»).

3. Паровая турбина типа Т-113/145-12,4 (изготовитель – ЗАО «Уральский турбинный завод»).

С помощью программного комплекса Boiler Designer разработана расчетная модель блока.

Моделирование ГТУ осуществлялось на основе ее разгрузочных и климатических характеристик, полученных в ходе обработки численных данных компании Mitsubishi Heavy Industries, Ltd методами регрессионного анализа.

Установлено, что при повышении температуры окружающей среды от -20 до +15 °С для конденсационного режима КПД ПГУ повышается от 56,7 до 57,2 %, уменьшается удельный расход топлива от 216,7 т у. т. до 214,9 т у. т., а температура уходящих газов изменяется от 117 °С до 80 °С.

Для теплофикационного режима работы ПГУ при увеличении температуры наружного воздуха от -20 до +15 °С коэффициент использования теплоты топлива  $\eta_{ит}$  блока растет от 0,826 до 0,855, но при температуре выше +5 °С использовать теплофикационный отбор на сетевые подогреватели неэффективно, потому что тепловая нагрузка снижается до 0. Наиболее экономически выгодно использовать теплофикационный режим работы ПГУ при температурах от -5 до +5 °С, т.к. на этом интервале наблюдается наибольшая паропроизводительность КУ при высоких показателях экономичности блока ( $\eta_{и.т}^{макс} = 0,835$ ).

УДК 66.081.62

## **ДИФФУЗИОННЫЙ ЭЛЕКТРОДИАЛИЗ**

Р.Р. ЗАЛЯЛОВ, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р хим. наук, проф. Н.Д. ЧИЧИРОВА

Современные мембранные технологии относятся к числу энергосберегающих технологий и обеспечивают: непрерывность и безреагентность разделения, мягкие условия разделения и низкие

энергозатраты, легкость масштабирования и сочетания с другими процессами, возможность контроля свойств мембран в широких пределах.

Мембраной называют пленку, плоское тело, протяженность которого по двум координатам значительно превышает протяженность по третьей координате. Мембраны могут быть проницаемыми или непроницаемыми.

Перенос веществ через мембраны может происходить под действием:

- разности концентраций;
- разности электрических потенциалов по обе стороны мембраны;
- разности давлений.

Метод мембранного разделения, использующий в качестве движущей силы процесса разность концентраций вещества на границах мембраны, называют диализом; а, метод, использующий разность электрических потенциалов по обе стороны мембраны, – электродиализом. Перепад давления по обе стороны мембраны лежит в основе баромембранных методов разделения.

Диализ по сути своей является диффузионным процессом. В диализе разделение вещества в растворе осуществляется за счет неодинаковой скорости их диффузии через мембрану. Диализ возможен при наличии градиента концентрации через мембрану. Наибольшее применение нашел электродиализ – разделение растворов под действием электродвижущей силы, которая создается по обе стороны полимерных и неорганических перегородок, проницаемых для любых ионов (отделение электролитов от неэлектролитов), или ионообменных мембран, проницаемых лишь для катионов, либо только для анионов (обессоливание водных растворов или фракционирование солей). Диализ электролитов имеет свои особенности в связи с переносом заряженных частиц – ионов. Например, если катионы имеют более высокую подвижность, чем анионы, то они опережают их при диффузии. Стремление более подвижных катионов уйти от менее подвижных анионов (или наоборот) приводит к незначительному разделению в пространстве зарядов, создающему разность электрических потенциалов, называемую диффузионным потенциалом. Диффузионный потенциал препятствует дальнейшему разделению ионов и они диффундируют вместе. Диализ применяют для удаления кислот или оснований из сточных вод.

## КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ВОДЫ НА УСТАНОВКАХ ОБРАТНОГО ОСМОСА И УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИИ НА ЗАИНСКОЙ ГРЭС

А.А. КОРОВКИН, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р хим. наук, проф. Н.Д. ЧИЧИРОВА

Группа установок получения обессоленной воды на Заинской ГРЭС включает в себя:

- установка ультрафильтрации применяется для отделения некоторых коллоидов, вирусов, угольной сажи, и др.;
- установка обратного осмоса применяется для деминерализации воды, задерживает практически все ионы на 92–99 %;
- блок противоточных фильтров в качестве последней ступени обессоливания.

Использование мембранной технологии обратного осмоса в схемах водоподготовки для объектов теплоэнергетики позволяет значительно сократить использование химических реактивов – кислот щелочей, поваренной соли, а также сократить сброс солей в окружающую среду.

Опыт работы мембранных установок по очистке природных вод, а также экспериментальное и теоретическое изучение процессов образования осадков на поверхности мембран показывают, что процессы массообмена, гидравлического распределения и химических взаимодействий, протекающие в аппаратах мембранного разделения, взаимосвязаны. В современных теоретических разработках преобладает рассмотрение процессов загрязнения мембран различными осадками без их взаимосвязи. Между тем системное рассмотрение свидетельствует о важности каждого процесса в формировании общей картины загрязнения мембран и ухудшения работы мембранных аппаратов.

Для повышения срока службы мембранного оборудования Заинской ГРЭС предлагается:

- 1) установить автоматический анализатор-сигнализатор активного хлора на линии подачи исходной воды в УОО;
- 2) многоканальный автоматический анализатор-сигнализатор мутности (мутномер-нефелометр).

Установка данных анализаторов-сигнализаторов позволяет вести требуемый контроль показаний содержания взвешенных коллоидных веществ, концентрации активного хлора и рН воды, что позволяет соответствовать нормативным значениям, установленным инструкцией по эксплуатации.

УДК 621.311.22

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЭВМ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ВОПРОСОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ КОТЛОВ-УТИЛИЗАТОРОВ ТЭС**

А.О. ЛАШИН, Е.С. МАЛКОВ, И.М. СМИРНОВ,  
Т.А. ЖАМЛИХАНОВ, ИГЭУ, г. Иваново  
Науч. рук. канд. техн. наук, проф. Б.Л. ШЕЛЫГИН;  
д-р техн. наук, проф. А.В. МОШКАРИН

На кафедре «Тепловые электрические станции» ИГЭУ разрабатывается компьютерный учебник в виде автоматизированной обучающей системы (АОС) «Котлы-утилизаторы ПГУ электростанций».

Представленный модуль «Режимы работы и эксплуатации котлов-утилизаторов электростанций» является заключительной главой АОС. Материал разработан применительно к котлу-утилизатору (КУ) с горизонтальной компоновкой поверхностей нагрева марки «П-88», входящего в состав энергоблока ПГУ-325. Он содержит три раздела.

В первом разделе представлены общие положения и требования к пусковым операциям. Дается классификация и последовательность пуска энергоблока и КУ из различных тепловых состояний оборудования.

Во втором разделе изучаются вопросы обслуживания КУ электростанций. Рассматриваются особенности эксплуатации КУ в нормальных условиях.

Третий раздел посвящен вариантам планового останова блока и аварийным ситуациям, при которых КУ должен быть немедленно остановлен.

Программный продукт работает в операционной системе Windows. АОС разработана с помощью HTML-редактора Macromedia Dreamweaver, рисунки выполнены с использованием графического редактора Corel Draw, анимация разработана в среде Flash Macromedia, Adobe Image Ready.

Роспатентом выдано свидетельство об официальной регистрации главы АОС, как программного продукта № 2010615703. Компьютерный учебник по изучению специальной дисциплины «Котельные установки» соответствует ГОСам энергетических специальностей (140101, 140103, 140104, 140106, 220301, 140404).

АОС предназначена для самостоятельного изучения эксплуатационных особенностей КУ ТЭС. Используется для работы со

студентами энергетических специальностей и может применяться в учебных центрах энергопредприятий для подготовки персонала.

УДК 621.311

## **ПРОЦЕСС ОБЕССЕРИВАНИЯ МАЗУТА В ЦИКЛЕ ТОПЛИВОПОДГОТОВКИ ТЭС**

Р.Е. ЛИПАНТЬЕВ, А.О. НИКАШИНА, КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. д-р техн. наук, проф. В.П. ТУТУБАЛИНА

Современная энергетика не может обойтись без высокотехнологичных решений проблем ее развития. Увеличение мощностей электрических станций требует новых подходов к проектированию и конструированию тепломеханического и вспомогательного оборудования. На ТЭС, использующих в качестве топлива сернистый и высокосернистый мазуты, широко распространена температурная коррозия поверхностей нагрева котлов. При сжигании указанных мазутов образуется серный и сернистый ангидриды, вызывающие загрязнение атмосферы. Для решения поставленных проблем предлагается в цикле топливоподготовки ТЭС использовать электродуговой реактор для обессеривания мазута.

В электродуговом реакторе десульфирование мазута происходит в электрической дуге, где происходит избирательное разрушение сернистых соединений с последующим их переходом в парогазовое состояние.

Реактор содержит от 2 до 12 неподвижных электродов. Нижние концы неподвижных электродов погружены в слой подвижных графитовых частиц, выполняющих функцию подвижных электродов. Такой порядок размещения электродов стабилизирует микроархивы, увеличивая их в объеме. Более того, плотность электрических разрядов в объеме мазута увеличивается за счет образования множества электродуг не только около нижних концов токопроводящих электродов, но и при контакте их по всей рабочей длине с взвешенными в жидкой фазе графитовыми твердыми частицами. При оптимальной работе реактора 30 % обычно неподвижных электродов не подключают к токопроводу, поскольку наличие постоянных контактирующих электродов повышает кратность контактирования с подвижными электродами.

Применение электродуговых реакторов в технологической схеме подготовки жидкого органического топлива для энергетических котлов ТЭС является одним из эффективных решений задач очистки мазутов от канцерогенных и коррозионно-активных соединений серы, ухудшающих качество топлива.

УДК 621.311

## **ПРИБОРНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ВОДНОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ**

Д.Ю. МАТВЕЕВ, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р хим. наук, проф. Н.Д. ЧИЧИРОВА

На скорость коррозии внутренней поверхности трубопроводов, оборудования и арматуры тепловых сетей и ТЭС существенно влияет наличие и концентрация в сетевой воде потенциально опасных соединений, таких как, например, хлориды, сульфаты, органические соединения, а также низкие значения рН. Если присосы водопроводной воды всегда определяются на ТЭЦ по резкому увеличению жесткости обратной воды, то увеличение содержания кислорода в обратной воде, несмотря на регулярность анализов, фиксируется очень редко.

С точки зрения эксплуатации особо важным является оперативный химический контроль, основная задача которого состоит в прогнозировании состояния оборудования электростанции в данный момент в отношении возможности протекания коррозионных процессов и образования отложений со стороны, омываемой теплоносителем.

С целью оперативного контроля за качеством теплоносителя и устранения нарушений ВХР тепловой сети предложена система физико-химического контроля водного теплоносителя.

Система включает в себя устройства нижнего и верхнего уровня автоматизации.

Реализация автоматической системы физико-химического контроля состояния теплоносителя системы ТЭС – закрытая тепловая сеть, основанная на применении электрохимических сенсоров ионного состава, позволила разработать рекомендации по рациональной организации и периодичности химического контроля. Определены необходимые контролируемые показатели ( $\sigma$ , рН,  $\text{Щ}_{\text{обш}}$ ,  $\text{Ж}_{\text{Ca}}$ ,  $\text{Ж}_{\text{Mg}}$ ,

$C_{CO_2}$ ,  $C_{Fe(II)}$ ,  $C_{Fe(III)}$ ,  $C_{SiO_2}$ ,  $C_{Cl}$ ,  $C_{SO_4^{2-}}$ , солесодержание), обеспечивающие качество теплоносителя.

Проведен выбор среди существующих автоматических приборов, необходимых для автоматического осуществления химического контроля.

УДК 621.311.22

## **АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВАРИАНТОВ ТЕРМИЧЕСКОГО ОБЕССОЛИВАНИЯ ПРИ РАСШИРЕНИИ ПЕРМСКОЙ ТЭЦ-9**

А.В. МОНЯКОВ, ИГЭУ, г. Иваново

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. А.В. МОШКАРИН

Расширение Пермской ТЭЦ-9 блоком ПГУ связано с увеличением потребности в добавочной воде на 300 т/ч. Одним из способов расширения водоподготовки является термический метод. Установка испарительных установок возможна в котельном отделении на месте демонтируемых, двух исчерпавших свой индивидуальный ресурс, котлов. Техническому анализу подвергнуты несколько типов автономных испарительных установок для решения поставленной задачи: испарительные установки кипящего типа на основе вертикальных испарителей И-600 и И-1000 ОАО «ТКЗ» с числом ступеней шесть, а также испарительные установки мгновенного вскипания башенного типа ООО «ЭКОТЕХ».

Проанализировано пять вариантов автономных испарительных установок:

*1 вариант.* Три линии испарительных установок, каждая из которых включает 6×И-600 производительностью 100–115 т/ч (суммарная производительность 300–345 т/ч).

*2 вариант.* Две линии испарительных установок, каждая из которых включает 6×И-1000 производительностью 159–176 т/ч (суммарная производительность 318–352 т/ч).

*3 вариант.* Испарительные установки мгновенного вскипания 6×ИМВ-50 (16 ступеней), производительностью 318–330 т/ч (каждая по 53–55 т/ч).

*4 вариант.* Испарительные установки мгновенного вскипания 3×ИМВ-100 (16 ступеней) производительностью 300–330 т/ч (каждая по 100–110 т/ч).

*5 вариант.* Две комбинированные испарительные установки, каждая из которых включает последовательно соединенные по пару традиционную 6×И-600 производительностью 100–115 т/ч и ИМВ-50 (50 т/ч).

Последний вариант оказался наиболее эффективным. Количество теплоты избыточного пара в этом варианте меньше, чем в вариантах 1–4 и оно может быть воспринято добавочной водой, подаваемой в теплосеть.

УДК 621.311

## РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВОК С ГАЗИФИКАЦИЕЙ УГЛЯ

А.Н. МРАКИН, СГТУ, г. Саратов

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. Ю.Е. НИКОЛАЕВ

Для исследования энерготехнологических установок (ЭТУ) в зависимости от вариаций параметров и схемных решений разработан алгоритм расчета энергетических и экономических показателей. В основу математической модели положены:

1 – системы уравнений материального, теплового, эксергетического балансов, аэродинамических и гидравлических сопротивлений в элементах и агрегатах ЭТУ:

$$\sum_{i=1}^n G_i^{\text{BX}} = \sum_{j=1}^m G_j^{\text{ВЫХ}} ,$$

$$Q_i = G_i \cdot C_p^i \cdot (t_{\text{вх}} - t_{\text{вых}}) = k_i \cdot F_i \cdot \Delta t_i ,$$

$$\sum_{i=1}^n Ex_i^{\text{BX}} = \sum_{j=1}^m Ex_j^{\text{ВЫХ}} + \Delta Ex_{\text{пот}} ,$$

$$\Delta p_i = \left( \xi_i + \lambda_i \cdot \frac{l_i}{d_i} \right) \cdot \frac{\rho_i \cdot w_i^2}{2} ;$$

2 – характеристики оборудования, учитывающие влияние изменения параметров на величину производительности, мощности элементов ЭТУ;

3 – система ограничений на физически возможные, технически осуществимые и технологически допустимые диапазоны изменения параметров энергоносителей и элементов ЭТУ:  $\Pi^{\min} \leq \Pi_{\text{расч}} \leq \Pi^{\max}$ .

В качестве критерия термодинамического совершенства ЭТУ используется эксергетический КПД установки:

$$\eta_{ex} = \frac{Ex_W + Ex_Q + Ex_{ХП}}{Ex_T + Ex_B + Ex_{реар}},$$

где  $Ex_W$ ,  $Ex_Q$ ,  $Ex_{ХП}$  – эксергия отпущенной с ЭТУ электроэнергии, теплоты и химической продукции (синтез-газа, золошлакового продукта, газообразного азота, сернистого кальция), кВт;  $Ex_T$ ,  $Ex_B$ ,  $Ex_{реар}$  – эксергия потребленного топлива, воздуха и дополнительных реагентов (воды и оксида кальция), кВт.

По разработанному алгоритму выполнен расчет ЭТУ с парокислородной автотермической газификацией угольной пыли. Эксергетический КПД получился равным 0,68. Капитальные вложения в ЭТУ – 17400 млн. руб. При стоимости отпускаемого синтез-газа 1,90 руб./м<sup>3</sup> и электроэнергии – 1,20 руб./кВт·ч срок окупаемости проекта составляет 11 лет с учетом 5 лет строительства ЭТУ, чистый дисконтированный доход 6430 млн. руб. (срок эксплуатации 30 лет), индекс доходности – 1,49 руб./руб.

УДК 621.438

## **ДОЗВУКОВЫЕ КАМЕРЫ СМЕШЕНИЯ С ТУРБУЛИЗАЦИЕЙ ПОТОКА ПЛОХООБТЕКАЕМЫМИ ТЕЛАМИ**

А.А. МУСИН, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, проф. Ю.Я. ГАЛИЦКИЙ

Экологичность работы камер сгорания энергетических газотурбинных установок (ГТУ) приобретает все большее значение из-за ужесточения норм выбросов вредных веществ в окружающую среду. При эксплуатации ГТУ такими вредными веществами являются оксиды азота NO и NO<sub>2</sub>, обозначаемые NO<sub>x</sub>, оксиды углерода CO, несгоревшие в результате неполного сгорания углеводороды. Для создания камер сгорания, удовлетворяющих современным технологическим требованиям, необходимо применение новых технических решений с другой технологией сжигания топлива.

При проектировании камеры смешения важно уметь предсказать не только степень перемешанности компонентов, но и правильно рассчитать потери на турбулизацию потока, оптимизировать весь процесс смешения. Эффективность протекания химических реакций зависит не только от

перемешивания в среднем, а от того, перемешались ли компоненты до молекулярного уровня. Степень перемешанности в этом случае определяется пульсациями концентраций компонентов.

Во многих технических устройствах требуется подмешивать газообразное или жидкое рабочее тело к основному потоку, распространяющемуся по каналу цилиндрической формы прямоугольного или круглого сечения. Для ускорения перемешивания необходимо турбулизировать поток, т.е. создавать в нем неоднородности скорости, помещая в него плохообтекаемые тела или вдувая поперечные струи. Такие турбулизированные течения сопровождаются появлением зон с почти нулевыми скоростями и зон обратными токами жидкости. Именно такие течения характеризуются минимальными относительными потерями на турбулизацию.

Цена потерь полного давления в камерах смешения хотя и минимальна, но конечна и в первом приближении обратно пропорциональна длине камеры смешения. По мере увеличения загромождения камеры растут потери, но и растет турбулизация потока, что приводит к сокращению длины камеры.

УДК 621.311.22

## **РЕКОНСТРУКЦИЯ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ЦИЛИНДРА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ БЛОКА 300 МВт**

Д.Э. ОЖЕРЕЛЬЕВ, ИГЭУ, г. Иваново

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Г.Г. ОРЛОВ

Парковый ресурс паровой турбины определяется ресурсом ее жаропрочных элементов: стопорных и регулирующих клапанов, корпуса цилиндра высокого давления (ЦВД) и элементов корпуса.

После исчерпания паркового ресурса турбиной необходимо осуществить большие затраты по замене ее старых элементов на новые. Поэтому в первую очередь следует оценить, что наиболее целесообразно выполнить: либо провести ремонтно-восстановительные работы, чтобы оставить в эксплуатации аналогичную конструкцию турбины, либо установить турбину более совершенной конструкции. Предлагаемая реконструкция проточной части ЦВД блока 300 МВт заключается в замене старой проточной части с активным облопачиванием на дисках и диафрагмах (1 регулирующая ступень и 11 ступеней давления в два

потока) на новую – с реактивным облопачиванием, состоящую из 1 регулирующей ступени и 19 ступеней реактивного типа.

Рабочие лопатки всех ступеней ЦВД (кроме регулирующей) выполнены из профилей переменного сечения. Как показывают проведенные расчеты, КПД ЦВД за счет применения реактивного облопачивания увеличивается с 0,774 до 0,842, что позволяет получить дополнительную мощность ЦВД порядка 8 МВт, при том же расходе пара на турбину.

Экономичность ЦВД достигается за счет: увеличения числа ступеней, применения более совершенных уплотнений, увеличения высоты лопаток, уменьшения теплового перепада на регулирующую ступень, применения более совершенных профилей лопаток.

Выполненный нами эскизный проект ЦВД паровой турбины блока 300 МВт показывает, что регулирующая ступень может быть выполнена на отдельном диске, а остальные ступени на бочкообразном роторе в два потока: левый поток состоит из 9 ступеней, а правый из 10 ступеней. Конструкция корпуса ЦВД может быть сохранена прежней.

Повышение КПД ЦВД позволяет получить дополнительную мощность блока, снизить удельный расход топлива на отпущенный кВт·ч и тем самым достичь экономии в расходе топлива на блок порядка 20,67 тыс. тонн условного топлива в год, по сравнению с существующей схемой проточной части.

УДК 66.081.62

## **ЭЛЕКТРОДИАЛИЗНОЕ КОНЦЕНТРИРОВАНИЕ СОЛЕВЫХ РАСТВОРОВ**

С.С. ПАЙМИН, Т.Ф. ВАФИН, КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. д-р хим. наук, проф. Н.Д. ЧИЧИРОВА

Во всем мире мембранные технологии доказали свое преимущество, по сравнению с традиционными технологиями очистки, разделения, обессоливания и концентрирования жидких и газовых смесей. Исторически в России и в других республиках бывшего СССР сравнительно большее развитие получили электромембранные технологии и в первую очередь – электродиализ, который появился первым среди других мембранных методов, взяв начало в широко применяемом в свое время ионном обмене.

Электромембранные установки предназначены для очистки и разделения смесей электролитов, а также для получения ультрачистой воды.

В настоящее время на отдельно взятых российских электрических станциях, в частности на Заинской ГРЭС, для очистки добавочной воды внедряются обратноосмотические модули. Подобные аппараты имеют высокую эффективность, но в процессе их использования примерно одна треть от всего количества исходной воды теряется с образовавшимся концентратом, что невыгодно при нынешних достаточно высоких ценах на исходную сырую воду. Решает данную проблему применение электродиализных аппаратов концентраторов, содержащих чередующиеся камеры обессоливания и концентрирования, образованные катионообменными и анионообменными мембранами и заполненные растворами электролита. Внешнее электрическое поле вызывает направленный перенос катионов и анионов электролитов через ионоселективные мембраны из камер обессоливания в камеры концентрирования. Эти аппараты способны преобразовать примерно до 80 % концентрата, образующегося в процессе работы обратноосмотических модулей, в пермеат, который будет использован в рабочем цикле станции. Применение еще одной дополнительной ступени электродиализного концентрирования позволит получить дополнительное количество пермеата, а образовавшийся в ходе этого концентрат может быть выделен в виде сухого остатка, который удобен при утилизации.

УДК 621.311.22:378

## **ИННОВАЦИОННЫЙ ПОДХОД В ОБУЧЕНИИ НА ПРИМЕРЕ КАФЕДРЫ ТЭС КГЭУ**

Т.А. ПАТЕЕВА, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р. хим. наук, проф. Н.Д. ЧИЧИРОВА

С 2008 года на кафедре «Тепловые электрические станции» создан «Класс компьютерных тренажеров», моделирующих работу современной тепловой электрической станции Казанская ТЭЦ-3 и энергоблока К-300-240. Для полноценной работы Класса сотрудниками кафедры были разработаны лабораторные и практические работы по основным дисциплинам специальности.

Создание компьютерных тренажеров, моделирующих работу теплоэнергетического оборудования, обусловлено рядом причин, важнейшими из которых являются отсутствие возможности проводить обучение и тренировку на действующем оборудовании, необходимость усвоения очень большого объема информации и получения практических навыков до начала практической работы. В этой связи внедрение компьютерных тренажеров в обучение является актуальной областью исследования.

Разработка методических пособий и рекомендаций для проведения лабораторных и практических работ послужила основой для следующего шага в освоении инновации – создание сценариев противоаварийных тренировок. Необходимо пояснить, что под сценарием здесь понимается любая последовательность действий, планируемая заранее для определенной ситуации, в том числе и аварийной.

Новизна настоящего исследования определяется тем, что впервые была предпринята попытка внедрения сценариев противоаварийных тренировок на компьютерном тренажере при проведении итоговой государственной аттестации выпускников-магистров по специальности 140101 «Тепловые электрические станции».

Проведенный анализ теоретических и экспериментальных исследований позволил сделать вывод, что внедрение компьютерных тренажеров в образовательный процесс позволяет сформировать умения принимать оптимальные решения в сложной аварийной ситуации, развить навыки исследовательской деятельности (при работе с моделирующими программами), повысить эффективность и качество обучения, углубить межпредметные связи в результате решения различных задач.

УДК 621.321

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СХЕМ ЭНЕРГОБЛОКОВ НА СУПЕРКРИТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПАРА**

А.А. РОГОВА, МЭИ (ТУ), г. Москва

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. И.П. ИЛЬИНА

При расчете тепловых схем энергоблоков с двукратным промежуточным перегревом может вызывать сложности определение параметров первого регенеративного отбора после второго промежуточного перегрева. В работе [1] Тишина С.Г. приводятся формулы

для определения «индифферентных» точек после каждого промперегрева. Автором были проведены варианты расчетов схем энергоблока мощностью 520 МВт на суперкритические параметры пара 30 МПа/600 °С/620 °С с однократным и 30 МПа/600 °С/620 °С/620 °С с двукратным промежуточным перегревом с целью определения местоположения «индифферентных» точек. Расчеты были проведены для оптимальных интервалов давлений промежуточных перегревов, рекомендуемых в [2]. При  $p_0 = 30$  МПа оптимальные давления первого промежуточного перегрева составляют  $p_{opt1} = 4,5 + 1,1$  МПа. При фиксированном давлении первого промежуточного перегрева давление второго составляет  $p_{opt2} = (0,13 + 0,26)p_{opt1}$ . Анализ результатов расчетов показывает высокую сходимость расчетов по формуле и вариантных расчетов в области оптимальных давлений промежуточных перегревов. При определении «первой индифферентной» точки при однократном промежуточном перегреве расхождение между вариантными расчетами и расчетом по формуле составляет 0,44–0,69 %, при определении «второй индифферентной» точки при двукратном промежуточном перегреве 0,71–1,86 %. Таким образом, расчет «индифферентной» точки после второго промежуточного перегрева может с точностью до 2 % определяться по формулам, предложенным в работе Тишина С.Г.

Литература:

1. О выборе параметров регенеративных отборов турбоустановок с промежуточным перегревом. / С.Г. Тишин. Теплоэнергетика № 7, 1995.
2. Мошкарин А.В. Анализ перспектив развития отечественной теплоэнергетики. / А.В. Мошкарин, М.А. Девочкин. Иван. гос. энерг. ун-т. – Иваново, 2002.

УДК 621.311.22

## ШАРИКОВАЯ ОЧИСТКА КОНДЕНСАТОРОВ ТУРБИН ТЭС

И.С. РОМАНОВ, ИГЭУ, г. Иваново

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Г.Г. ОРЛОВ

Из-за наличия в воде, проходящей через конденсаторы турбин ТЭС, береговой и водной растительности, прибрежного мусора, рыб и т.п., происходит загрязнение трубок и трубных досок конденсаторов турбин, что в итоге ведет к недоотпуску энергии блоком ТЭС.

Для поддержания трубок конденсатора в чистом состоянии используют методы очистки: химический, термический, механический или воздушной смесью. Однако наиболее эффективным мероприятием, как показал анализ, является очистка трубок конденсатора эластичными шариками, диаметр которых на 1–2 мм больше внутреннего диаметра трубки, вводятся в контур циркуляционной системы в напорный водовод перед конденсатором за фильтром предварительной очистки. После прохождения через трубки конденсатора шарики улавливаются специальной сеткой, установленной в сливном водоводе вблизи выходной водяной камеры конденсатора. Из выходного патрубка шарикоулавливающей сетки шарики с потоком воды по трубопроводу подводятся к насосу, который подает шарики снова в напорный патрубок, замыкая контур циркуляции.

При среднем времени прохода шарика по контуру циркуляции 30–40 с одноразовая загрузка шариков составляет около 5 % от общего количества трубок в конденсаторе. Для турбины К-800-240-5 ЛМЗ количество трубок конденсатора равно 39232 шт., что составляет на каждую половину конденсатора 19616 трубок, а количество шариков составит 980 шт. на одну половину конденсатора (5 % от 19616 трубок).

Проведенные опыты показали, что в результате установки фильтра в напорном водоводе перед конденсатором коэффициент чистоты конденсатора достигает 0,82, что на 30 % больше коэффициента чистоты конденсатора без системы шариковой очистки (СШО). При увеличении давления в конденсаторе из-за загрязнения трубок при весеннем паводковом режиме СШО должна находиться в режиме непрерывной работы загрузкой не менее 750 штук на одну половину конденсатора. Как показывают опыты, после внедрения СШО дополнительная выработка электроэнергии на блоке 800 МВт может достигать величины порядка 20 млн кВт·ч в год.

УДК 621.311.22

## **СПОСОБ КОМПЕНСАЦИИ УТЕЧЕК В ЦИКЛЕ БЛОКА ТЭС**

Д.М. РЯБОВ, ИГЭУ, г. Иваново

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Г.Г. ОРЛОВ

В настоящее время большинство отечественных ТЭС используют в качестве топлива природный газ, представляющий собой комплекс

углеводородов, дающий при сжигании в основном  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ . Целесообразно для повышения экономичности ТЭС использовать не только тепло уходящих газов, но также и конденсат водяных паров, содержащихся в них. Этот конденсат на Ульяновской ТЭЦ-3 используют для подпитки теплосети.

Особенность предлагаемого нами способа компенсации утечек пара и воды в цикле ТЭС состоит в том, что отделитель  $\text{H}_2\text{O}$  из уходящих газов котла выполнен в виде контактного теплообменника с завихрителем и трубой Вентури. Теплота уходящих газов котла отдается воде, циркулирующей с помощью насоса по контуру: контактный теплообменник, вакуумный испаритель, подогреватель низкого давления (ПНД) регенеративной схемы, конденсатор турбины. Водяные пары, сконденсированные из уходящих газов в контактном теплообменнике, снова превращаются в пар в вакуумном испарителе и идут через ПНД и конденсатор турбины на компенсацию утечек в цикле ТЭС. Предлагаемая схема позволяет отказаться от химводоочистки, служащей для восполнения потерь в цикле. Качество рабочего вещества цикла с учетом конденсата водяных паров из уходящих газов поддерживается блочной обессоливающей установкой.

Утилизация тепла  $Q$  уходящих газов котла в ПНД позволяет получить экономию в расходе топлива на блок в количестве  $\Delta B$ :

$$\Delta B = \frac{\xi \cdot Q \cdot \tau}{\eta_{\text{ка}} \cdot \eta_{\text{тр}} \cdot Q_{\text{усл}}} \cdot \beta \quad ,$$

где  $\eta_{\text{ка}}$ ,  $\eta_{\text{тр}}$  – КПД котла и трубопроводов, соответственно;  $\xi$  – коэффициент ценности тепла;  $\tau$  – число часов использования установленной мощности;  $\beta$  – коэффициент, учитывающий изменение потерь энергии с выходным паром турбины;  $Q_{\text{усл}}$  – теплота сгорания условного топлива.

Предлагаемая установка для блока 800 МВт с турбиной К-800-240-5 позволяет отказаться от химводоочистки для подпитки цикла и получать от 38 до 47,5 т/ч конденсата. Срок окупаемости установки не превышает двух месяцев.

УДК 62-7/78

## РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ДЛЯ РЕАЛЬНО ДЕЙСТВУЮЩЕЙ ТУРБОУСТАНОВКИ

Л.В. САВОСТЬЯНОВА, И.А. СТЕПАНОВ, ТПУ, г. Томск  
 Науч. рук. д-р техн. наук, проф. В.В. ЛИТВАК

На основе ремонтной истории реально действующей установки для некоторых узлов турбоустановки рассчитаны показатели надежности работы.

Для того чтобы просчитать остаточный ресурс работы установки, необходимо знать историю работы, ремонтов, остановов определенной турбоустановки. В данной работе мы рассматриваем турбину К-100-90-5 зав. № 582 ЛМЗ, изготовлена 30.01.1958 г., установлена на Томь-Усинской ГРЭС ст. №3, пущена в эксплуатацию 29.10.1959 г.

Произведено девять капремонтов рабочих лопаток, обойм, диафрагм, корпуса и скрепляющей проволоки ЦНД: с 01.08.1961 г. по 29.09.1961 г., с 21.08.1962 г. по 18.09.1962 г., с 22.05.1968 г. по 20.06.1968 г., с 14.07.1975 г. по 22.08.1975 г., с 23.03.1981 г. по 24.04.1981 г., с 02.06.1988 г. по 02.07.1988 г., с 11.03.1996 г. по 10.04.1996 г., с 04.03.2001 г. по 04.04.2001 г., с 10.01.2006 г. по 11.02.2006 г.

№	Время в работе $T_i$ , ч	Время в работе $t_{\text{раб}}$ , ч	Плотность распределения $f(t)$ , $10^6/\text{ч}$	Частота отказов, $\lambda$	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$P_{m=0}$
1	15840	10490	63,1	0,553	0,943	0,061	0,575
2	7200	47660	138,9	1,217	0,882	0,133	0,296
3	50400	33360	19,8	0,174	0,981	0,019	0,84
4	518400	34,3	1,9	0,017	0,998	0,002	0,983
5	48960	32410	20,4	0,179	0,981	0,02	0,836
6	62640	41470	16,0	0,14	0,985	0,015	0,869
7	72720	48140	13,8	0,12	0,987	0,013	0,887
8	38160	25260	26,2	0,23	0,975	0,025	0,795
9	56160	37180	17,8	0,156	0,983	0,017	0,856

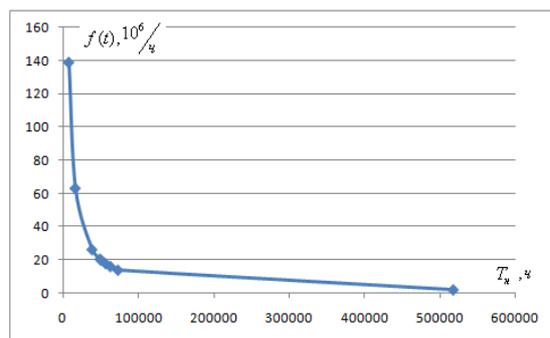


Рис. 1. Зависимость плотности распределения от времени в работе

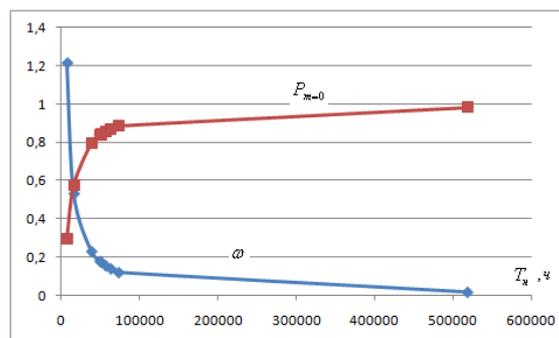


Рис. 2. Зависимость частоты отказов и вероятности безотказной работы от

После анализа результатов расчета показателей надежности всех элементов турбоустановки можно будет делать вывод о реальном времени продолжения работы турбоустановки, т.е. об остаточном ресурсе работы.

УДК 621.311.22

## **МОНИТОРИНГ КОРРОЗИОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В ОБОРУДОВАНИИ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ**

А.Н. САНИНА, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Ю.В. АБАСЕВ

В оборудовании тепловых электрических станций неизбежно образуются продукты коррозии, являющиеся причиной ухудшения теплообмена, что приводит к снижению его надежности и экономичности. Надежность эксплуатации теплоэнергетического оборудования в большой степени определяется решением проблем предотвращения коррозии металла в пароводяном контуре ТЭС.

За последние годы значительно возрос интерес к использованию различных неразрушающих методов контроля коррозии для мониторинга оборудования в течение эксплуатации. Широко используется метод поляризационного сопротивления. Более точно можно его определить с помощью спектроскопии электрохимического импеданса металла в коррозионной среде.

Для исследования отложений использовали метод электрохимической импедансной спектроскопии. Для измерения импеданса использовали прижимную ячейку. Рабочий электрод представляет собой стальную пластину с отложениями, в качестве электрода сравнения использован хлоридсеребряный электрод, вспомогательный электрод – платиновый. Импеданс электрода измеряли с помощью разработанной ИЭЛ РАН установки ЭЛ-02.

По мере увеличения толщины отложений возрастает его сопротивление. Свойства можно сравнивать и количественно оценивать, анализируя величины элементов эквивалентных схем, имитирующих поведение покрытия в переменном токе. Показана возможность применения импульсного метода измерения импеданса для расчета поляризационного сопротивления.

УДК 621.311.22

## **ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО ОПТИМИЗАЦИИ РАБОТЫ ПРОТИВОДАВЛЕНЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ НИЖНЕКАМСКОЙ ТЭЦ**

Т.И. ХАМИДУЛЛИН, КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. канд. техн. наук, проф. Ю.Я. ГАЛИЦКИЙ

Промышленный спад привел к тому, что возможности теплофикационных турбин по отпуску пара в значительной мере не используются. Особенно это сказалось на эксплуатации турбин типа Р. Всего на ТЭЦ России установлено 18 турбин Р-100-130.

На Нижнекамской ТЭЦ (ПТК-1 и ПТК-2) установлено 7 турбин Р-100-130/15. Анализ технико-экономических показателей станции показывает о снижении отпуска тепла внешним потребителям. Из пяти установленных на НКТЭЦ-1 турбин Р-100-130 две турбины находятся в консервации, а три имели коэффициенты загрузки 0,8–0,9. Основной причиной простоя турбин Р-100-130 является использование ОАО «Нижнекамскнефтехим» пара промышленного отбора от собственных источников (эксплуатация трех ГТУ по 25 МВт). В этих условиях остро встает вопрос максимального использования турбин Р-100.

Для энергетики Татарстана исследование по оптимизации работы противоаварийного оборудования НКТЭЦ имеет практическое значение и позволяет рассмотреть способы загрузки турбин Р-100-130. Одним из путей повышения электрической мощности Нижнекамской ТЭЦ является использование турбин мягкого пара для загрузки противоаварийных турбин, что является актуальной задачей, позволяющей наиболее лучшим способом загрузить данные турбины.

В ходе проведения данного исследования были проанализированы состав оборудования НКТЭЦ (ПТК-1,2), установленная мощность ПТК-1,2; рассмотрен основной потребитель пара и тепла ТЭЦ. Для проведения расчета была принята во внимание действующая тепловая схема турбоустановки Р-100-130, а также тепловая схема приключенных турбин, предлагаемых для загрузки противоаварийного оборудования.

УДК 621.311.22

## КОНТРОЛЬ КОРРОЗИИ МЕТАЛЛА КОТЕЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ

А.Р. ШАКИРОВ, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р хим. наук, проф., Н.Д. ЧИЧИРОВА

Совершенствование технологий водно-химических мероприятий на тепловых и атомных электростанциях имеет важное значение для повышения эффективности, надежности и экономичности работы теплоэнергоустановок, и может внести существенный вклад в энерго- и ресурсосбережение, уменьшение вредного воздействия энергетических объектов на окружающую среду. Большой опыт эксплуатации парогенерирующих установок показал, что постепенное образование на теплообменных поверхностях отложений из продуктов коррозии конструкционных материалов контура и естественных примесей воды является неизбежным.

Мероприятия, связанные с защитой оборудования от коррозии и уменьшения количества отложений на теплопередающих поверхностях теплоэнергетического оборудования, являются весьма актуальными на сегодняшний день. Для предотвращения повышенной коррозии конструкционных материалов и образования отложений на теплообменных поверхностях в проточных частях турбоустановки в теплоэнергетике осуществляются водно-химические мероприятия с использованием различных химических реагентов (фосфатные и оксидные защитные пленки). Они могут применяться для кондиционирования рабочего тела водяных контуров электростанций с целью пассивации поверхности металла за счет создания защитной оксидной пленки, образующейся при термолизе, удаления «на ходу» ранее образовавшихся отложений, создания хороших условий для консервации оборудования на длительный период.

В связи с этим актуальными являются задачи определения путей контроля коррозии металла котельных агрегатов, повышение эффективности используемых реагентов и методов очистки. Перспективными являются экспериментально-лабораторные методы, позволяющие сделать предварительную оценку эффективности применения реагентов для коррекционных водных режимов ТЭС с участием различных химических веществ.

## **ПЕРСПЕКТИВА ПРИМЕНЕНИЯ ВОДОУГОЛЬНОЙ СУСПЕНЗИИ НА КАЗАНСКОЙ ТЭЦ-2 В КАЧЕСТВЕ ОСНОВНОГО ТОПЛИВА**

И.А. ЮСУПОВ, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. ст. преп. Р.В. БУСКИН

Основным топливом на Казанской ТЭЦ-2 является газ, а резервным – уголь. Немаловажным фактором является наличие лимита на сжигание газа на станциях. Вследствие этого применение на Казанской ТЭЦ-2 угля, а в частности водоугольной суспензии (ВУС) является актуальной задачей.

Для определения возможности применения в промышленных котлах водоугольных суспензий выполняется проверочный тепловой расчет действующего котлоагрегата.

Для перевода действующих котлов с пылеугольными топками на сжигание водно-угольных суспензий необходимы высокоэффективно работающие горелочные устройства, обеспечивающие надежное распыливание и воспламенение топлива.

ВУС представляет собой дисперсную систему, состоящую из тонкоизмельченного угля, воды и реагента-пластификатора: уголь (кл. 0–200(500) мкм) – 59–70 %; вода – 29–40 %; реагент-пластификатор – 1 %. Полнота сгорания ВУС составляет примерно 95–97 %, почти на треть выше, чем у простого угля.

Благодаря практически полному выгоранию частиц угля в ВУС вредные газообразные выбросы в атмосферу минимальны и сопоставимы с выбросами при сжигании газа.

С увеличением влажности топлива излучение  $\text{CO}_2$  уменьшается незначительно, в то время как излучение паров  $\text{H}_2\text{O}$  резко возрастает. Поэтому при переводе действующего котла с пылеугольной топкой на сжигание суспензии теплосодержание топочных газов перед конвективными поверхностями нагрева остается практически неизменным, несмотря на более низкую температуру факела.

Для правильного суждения об экономичности сжигания влажного топлива (или водоугольных суспензий) надо учесть все потери от момента выдачи топлива до его подачи в топку котлоагрегата.

УДК 621.311

**РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОЗОНИРОВАНИЯ  
НА ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОЧИСТКЕ ВОДЫ В ОСВЕТИТЕЛЯХ**

Л.Ф. ЯМГУРОВ, КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. д-р хим. наук, проф. Н.Д. ЧИЧИРОВА

Целью данной работы являются мероприятия, направленные на улучшение качества осветленной воды после осветлителей (за счет снижения окислов железа, окисляемости, кремнесодержания), значительную экономию на фильтрующем материале и хим. реагентов, и снижение потерь на собственные нужды на химводоочистке (ХВО).

В настоящее время на предварительной очистке ХВО смонтированы осветлители типа ВТИ-350, ВТИ-630 и ЦНИИ-400, в которые дозируется коагулянт и известковое молоко. Существующая технология предочистки была разработана в 50 годах прошлого века. Данная технология очень чувствительна к колебаниям температур, дозировке реагентов и т.д.

Все вышеуказанное негативно сказывается на работе всей обессоливающей установки, заражении фильтрующих материалов органосодержащими комплексами железа и т.д. Для более эффективной работы осветлителей и улучшения качества осветленной воды предлагается на входе в осветлители подавать воздушно-озоновую смесь через озонатор для удаления из сырой воды значительного количества железа (за счет связывания гидроксида железа из двухвалентного в трехвалентное и выпадения в шлам  $\text{Fe}(\text{OH})_2 + \text{O}_2 = \text{Fe}(\text{OH})_3 \downarrow$ ), кроме этого осаждаются органосодержащие соединения. Избыток кислорода удаляется на осветлителях в воздухоотделителях. Подача озона будет автоматически регулироваться через ротаметр с коррекцией по расходу сырой воды на осветлитель.

Принцип работы озонатора схож с образованием озона в природе. Электрический разряд, действуя на часть молекул кислорода, провоцирует их распад на атомарный кислород, который, соединяясь с молекулярным кислородом, образует конечный продукт – озон.

Озонатор является прямоточным прибором и работает следующим далее образом. При подаче питания на озонатор:

- включается вентилятор осевого типа, который прогоняет через озонатор воздух;
- включается блок питания озонатора, генерирующий электрические колебания с амплитудой до 2 кВ;
- электрические колебания с амплитудой 2 кВ подаются на электроды, на которых из кислорода, содержащегося в воздухе, синтезируется озон.

Предварительная работа была проведена на Нижнекамской ТЭЦ (ПТК-1) в ХВО-1 с подачей распыленного воздуха на вход в осветлитель № 5.

Данная работа позволит получить эффект от внедрения за счет увеличения срока эксплуатации фильтрующего материала, который идет на засыпку фильтров ( $\approx 24 \text{ м}^3$  составляет фильтрующий материал, идущий на засыпку в химическом цехе).

Стоимость  $1 \text{ м}^3$  составляет 210 тыс. рублей.

С учетом экономии на фильтрующем материале и снижения потерь на регенерацию цепочек экономический эффект от данной работы составит приблизительно 6–8 млн. рублей в год.

Более точные данные по экономическому эффекту будут получены после проведения данной работы.

## **СЕКЦИЯ 8. «ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

УДК 662.998

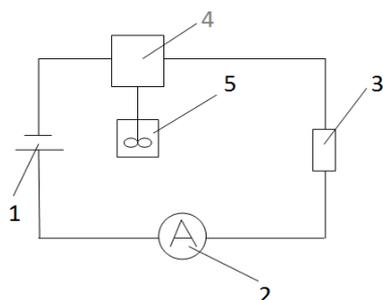
### **ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ОТВЕРЖДЕНИЯ РАСТВОРОВ НЕПРЕДЕЛЬНОГО КАУЧУКА В РАЗРАБОТКЕ ГИДРО-, ЭЛЕКТРО-, ТЕПЛОИЗОЛИРУЮЩИХ СОСТАВОВ**

Р.Р. АБДРАШИТОВ, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р хим. наук, проф. О.Р. КЛЮЧНИКОВ

Для решения проблемы изучения вязкости и кинетики вулканизации растворов на основе непредельного каучука возникла необходимость разработки простой и эффективной схемы ротационного вискозиметра.

По литературным источникам рассмотрен ряд инструментальных методов определения вязкости: ротационный; метод Гепплера с падающим шариком и капиллярный. Разработанные нами композиции в своей основе непрозрачны, поэтому использование вискозиметров Гепплера невозможно. В конечном итоге наш выбор был остановлен на ротационном методе определения вязкости и кинетики вулканизации растворов каучука.



Первым этапом исследования была разработка экспериментальной установки, представленная на схеме, состоящая из:

- 1 – источника питания;
- 2 – амперметра-измерителя;
- 3 – сопротивления;
- 4 – электродвигателя с мешалкой (ЭД);

5 – ячейки с исследуемым раствором.

Суть метода сводится к следующему, при увеличении вязкости раствора увеличивается потребление тока ЭД, измеряемым амперметром, таким образом можно составить корреляцию типа **вязкость-сила тока**.

В рамках данного этапа получены результаты исследований вязкости модельных изоляционных растворов каучука в минеральном масле.

УДК 621.311

## ВАКУУМНАЯ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ РАСШИРЕННОЙ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

К.В. АЛТУНИН, КГТУ им. А.Н. Туполева, г. Казань  
Науч. рук. д-р техн. наук, проф. Ю.Ф. ГОРТЫШОВ;  
канд. техн. наук, проф. Ф.Н. ДРЕСВЯННИКОВ

Известны гидроэлектростанции (ГЭС), работающие благодаря перепаду уровней водной поверхности. В настоящее время многие ГЭС являются сложными комплексами дорогостоящих сооружений и оборудования, а также могут быть установлены только в определенной местности, ландшафт которой позволяет успешно эксплуатировать ГЭС. Большинство существующих ГЭС представляют серьёзную экологическую угрозу и могут стать причиной техногенной катастрофы. Проведен анализ основных недостатков существующих ГЭС.

В докладе приводится новая вакуумная ГЭС расширенной области применения. Отличительными особенностями разработанной вакуумной ГЭС являются:

- 1) для работы ГЭС не требуется постоянная работа вакуумного насоса с затратой соответствующей электроэнергии;
- 2) вакуумная ГЭС может быть установлена на любой равнинной местности, где имеется водоем (например, река, озеро, море, океан) или любой резервуар с жидкостью;

3) все основные компоненты вакуумной ГЭС находятся внутри герметичной камеры с вакуумным давлением и не являются источниками шума;

4) имеется возможность установки сразу нескольких вакуумных ГЭС в одном месте;

5) предлагаемая вакуумная ГЭС может эффективно применяться с целью выработки электроэнергии, опреснения морской воды, получения пара, а также фильтрации воды, нагрева или охлаждения соответствующего теплоносителя в теплообменнике;

6) созданная вакуумная ГЭС не представляет угрозу окружающей среде, т.к. не требуется сооружать плотины, изменять направление природных водных потоков, искусственно создавать перепад уровней водной поверхности, искажая при этом естественный ландшафт и разделяя среду обитания представителей фауны.

Предлагаемая вакуумная ГЭС является полностью экологически безопасной и может широко применяться в малой и большой энергетике.

УДК 338.28

## **ПОДБОР ИСТОЧНИКА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ДЛЯ НЕФТЕГАЗОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

К.Ю. АФАНАСЬЕВ, ТПУ, г. Томск

Науч. рук. канд. техн. наук, ст. преп. Л.И. МОЛОДЕЖНИКОВА

При разработке новых труднодоступных месторождений нефти и газа встает вопрос о правильном выборе источника теплоснабжения.

В данной работе рассматривается анализ выбора источника теплоснабжения вахтового поселка, расположенного на одном из нефтяных месторождений западной Сибири.

Теплоснабжение объектов промзоны и вахтового поселка можно осуществить несколькими способами, такими как:

1) от центральной водогрейной котельной и нестационарных паровых установок, установленных непосредственно у потребителей;

2) от газотурбинных установок (ГТУ);

3) от центральной паровой котельной.

В качестве основного источника тепла предложена паровая котельная. Этот выбор объясняется наличием паровой нагрузки в

промышленной зоне. Паровая котельная имеет ряд преимуществ перед водяной.

Имея общую паровую котельную, можно существенно увеличить КПД выработки пара и его качество;

В качестве альтернативного источника тепла предложена водогрейная котельная. Паровая нагрузка в этом случае удовлетворяется нестационарными источниками пара или ППУ. Данный вариант имеет ряд недостатков по сравнению с использованием паровой котельной, описанных выше.

Использование газотурбинных установок теплоснабжения является наименее подходящей для рассматриваемого поселка. К недостаткам ГТУ можно отнести: резкое падение КПД при снижении нагрузки; меньший срок службы и т.д.

При использовании паровой котельной, вместо пароводяных теплообменников было предложено использовать трансзвуковой аппарат (ТСА) типа «Фисоник», благодаря этому удалось снизить затраты на электроэнергию, так как отпала необходимость в использовании сетевых насосов вследствие создания ТСА дополнительного подпора (насосного эффекта) и отсутствия у ТСА гидравлического сопротивления.

Проведенные расчеты еще раз доказали эффективность и привлекательность использования паровой котельной, оборудованной ТСА, в качестве источника теплоснабжения вахтового поселка.

УДК 532.595.2

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ГАСИТЕЛЕЙ ГИДРОУДАРА НА ПРОИЗВОДСТВЕ**

**Р.Ш. АХМАДИЕВ, КГЭУ, г. Казань**

**Науч. рук. асс. В.А. ИГОШИН**

Согласно официальной статистике на трубопроводных системах России происходит 180 аварий на 100 км теплосетей и 70 аварий на 100 км. водопроводов / сетей канализации.

Причинами разрыва трубопроводов являются: 60 % – гидроудары, перепады давления и вибрации; 25 % – коррозионные процессы; 15 % – природные явления и форс-мажорные обстоятельства.

Основными причинами возникновения гидравлических ударов являются:

- 1) остановка циркуляционных насосов при их внезапном обесточивании;
- 2) пуски и останов резервных насосов при работающих основных и наоборот;
- 3) использование насосов, имеющих «помпажные» рабочие характеристики;
- 4) срабатывание быстродействующей запорной арматуры;
- 5) неверные действия операторов пультов управления гидросистем;
- 6) разрывы труб вследствие механических повреждений и другие;
- 7) быстрое закрытие или открытие запорных и регулируемых устройств;
- 8) пуск насоса при открытом затворе на нагнетательной линии.

Примером гидравлического удара является повышение давления в трубопроводе с постоянным напором и установившимся движением жидкости, в котором была резко перекрыта задвижка или закрыт клапан.

Существующие гасители гидроударов:

«Трубные стояки», ресиверы (в т.ч. ПГА и МПА); воздушно-водяные колпаки; клапаны: для впуска, заземления и выпуска воздуха; клапаны-гасители; обратные клапаны; гидропневматические тормозные устройства; обводные трубы; разрушаемые диафрагмы – мембраны; стабилизаторы давления; демпферы пульсаций давления и др.

Основные недостатки существующих гасителей гидроудара:

- Пропускают динамическую составляющую гидравлического удара.
- Не изменяют фазовую скорость распространения ударной волны.
- Неработоспособны при изменении рабочей точки системы.
- Допускают потерю массы перекачиваемой жидкости (энергоносителя).
- Спроектированы на гашение конкретного вида и интенсивности ударных волн.

УДК 536.24+536.27

## **ЧИСЛЕННАЯ МОДЕЛЬ ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ В ТРУБЧАТО-КОЛЬЦЕВОМ КАНАЛЕ В УСЛОВИЯХ НЕСТАЦИОНАРНОСТИ**

Н.В. БОГДАНОВА, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. К.Х. ГИЛЬФАНОВ

Нестационарные условия работы в проточных частях энергетических установок возникают из-за ряда причин, к которым можно отнести, например, пульсирующие режимы работы установки. В данной работе рассматривается нестационарное течение жидкости в трубчато-кольцевом канале, моделирующем нефтяную скважину.

Метод расчета, который производится с учетом деформации пространственно-временных величин при изменении граничных условий во времени, называется нестационарным. При соответствии параметров процесса мгновенным характеристикам потока – квазистационарный метод. При расчете по среднему расходу за период колебаний по формуле Дарси-Вейсбаха с расчетом коэффициента сопротивления по Блазиусу – стационарный метод.

В основу математической модели положена теория пограничного слоя с двухслойной его моделью для несжимаемой жидкости. Для численного определения развития пограничного слоя и течения в целом по продольной координате применяется система нестационарных интегральных уравнений неразрывности и движения в плоском приближении при заданных начальных и граничных условиях. Система уравнений замыкается соотношением для закона трения на основе гипотезы турбулентности Прандтля. В результате проведенных расчетов определяются характерное число Рейнольдса, коэффициент трения, параметр гидродинамической нестационарности, потери статического давления, толщина вязкого подслоя, безразмерная скорость на его внешней границе.

На стабилизированных участках течения гидродинамические и кинематические параметры постоянны. На начальном участке в 15–35 диаметров эти величины изменяются по продольной координате. После реализации расчетов потерь давления полученные результаты отличаются от квазистационарных значений на 3 %, от стационарных на 37 %. Таким образом, результаты расчетов показывают, что практические оценки параметров процессов без учета явлений нестационарности приводят к большим ошибкам в расчетах и являются неприемлемыми при выборе, например, технологического оборудования.

УДК 620.98

**ТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС  
«ДУГОВЫЕ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫЕ ПЕЧИ – ИСТОЧНИК  
ЭНЕРГИИ»**

А.Н. БУШУЕВ, ОГТИ, г. Орск

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. С.В. КАРТАВЦЕВ

В современном металлургическом производстве растет востребованность в электрической энергии, наиболее мощными потребителями которой являются дуговые сталеплавильные печи (ДСП). Любое приспособление режимов производства ДСП к внешним технологическим обстоятельствам является ограничением, влияющим в худшую сторону.

Дуговые печи по сей день остаются мощными генераторами помех, передаваемых в системы электроснабжения, что обеспечивает дополнительные затраты. К тому же, процесс выплавки стали в ДСП имеет переменный характер, связанный с остановами, загрузкой и выгрузкой печи. Следовательно, создаваемая печью электрическая нагрузка также резкопеременна, особенно в начальный этап процесса при многократных обрывах дуги. Поэтому основным наиболее логичным и исчерпывающим требованием к комплексу «ДСП – источник энергии» должна быть неограниченная внешними факторами (по отношению к ДСП) подача электроэнергии, вырабатываемая строго по графику нагрузки, создаваемому дуговыми печами.

Выработка электрической энергии осуществляется посредством сложного сочетания тепловых процессов на электростанциях. На сегодняшний день отсутствует «идеальный» тепловой источник, способный вырабатывать электрическую энергию по графику потребления ДСП. К данной проблеме должен осуществляться научный подход со стороны теплового процесса выработки электрической энергии. Решение этой проблемы со стороны теплоэнергетики заключается в разработке энергоисточника, как сложной тепловой системы, с учетом влияния ее каждого элемента на работу электросталеплавильного цеха в целом. Это может быть дальняя электростанция, обеспечивающая электрической энергией через высоковольтные линии электропередачи (ЛЭП), или индивидуальный энергетический объект с возможностью утилизации тепла сопутствующих промышленных процессов в электрометаллургии.

Решение данного вопроса может дать немалый результат в энергосбережении, особенно на вновь проектируемых металлургических объектах.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИКЛОННОГО ПРЕДТОПКА В СХЕМЕ УТИЛИЗАЦИИ КОНВЕРТОРНОГО ГАЗА

М.В. ЕЛЕСИН, В.В. ЕЛЕСИНА, А.А. КОРШАКОВ,  
МГТУ им. Г.И. Носова, Магнитогорск  
Науч. рук. канд. техн. наук, проф. Е.Б. АГАПИТОВ

Утилизация конверторного газа является актуальной проблемой энергосбережения в металлургическом производстве.

За одну плавку конвертора емкостью 350 т. вырабатывается 110–150 тыс. м<sup>3</sup> конверторного газа, разогретого до температуры 1700 град. и содержащего до 90 % окиси углерода, с запыленностью на уровне 200–220 г/м<sup>3</sup>.

Существующие схемы утилизации конверторного газа малоэффективны с теплотехнической точки зрения и отличаются сложностью в эксплуатации. Например, схемы с выработкой и аккумулярованием насыщенного пара и последующей выработкой электроэнергии отличаются нестабильностью характеристик из-за проблем с работой паровых аккумуляторов.

Предлагается схема утилизации конверторного газа в типовом энергетическом котле с производством острого пара и дальнейшей выработки электрической энергии.

Для выполнения поставленной задачи необходимо повысить калорийность конверторного газа и очистить его от пыли.

Смешение угольной пыли, природного и конверторного газов позволяет добиться постоянной калорийности смеси при всей продолжительности продувки конвертора.

Применение циклонной топki позволяет улавливать до 95–98 % пылевых частиц. При этом частицы прилипают к стекающей по стенкам топki пленке жидкого шлака.

Регулировка тепловой мощности котла производится в основном расходом природного газа и в меньшей степени расходом пылеугольной смеси.

По предварительным расчетам из циклонной камеры возможен выход металлизированного продукта, различных видов, в блоке с конвертором емкостью 350 т., что составит 300 т. за сутки.

Данная тематика в Российской металлургии особенно актуальна в связи с ужесточением экологических требований к производству.

Предполагаемая схема обеспечивает повышение промышленной безопасности, т.к. взрывоопасный газ не транспортируется, а сразу утилизируется.

УДК 621.181.25

## **АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ НА ПРОЦЕСС ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В ТЕПЛОВУЮ В ЭЛЕКТРОДНОМ КОТЛЕ**

А.Ю. ЖЕЛЕЗНОВ, КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. канд. техн. наук, асс. Д.В. РЫЖКОВ

Как известно, электродный котел – это агрегат прямого действия, т.е. без посредников. Нагрев воды происходит за счет его ионизации. То есть, молекулы теплоносителя расщепляются на положительные и отрицательно заряженные ионы, которые двигаются к соответствующим электродам котла. При этом идет выделение энергии. Таким образом, можно сказать, что процесс нагрева теплоносителя идет напрямую, без «посредника» (например, ТЭНа).

Поскольку в электродных агрегатах вода – элемент электроцепи, выделяющий тепло, она нуждается в определенной подготовке, чтобы получить нужное электрическое сопротивление, например, попытки нагреть дистиллированную воду не будут иметь успеха. Подготовку же выполняют опытным путем – подсаливают, добавляя раствор поваренной соли, либо обессоливают, примешивая дистиллированную воду.

Электродный котел набирает мощность постепенно. По мере нагрева теплоносителя его электрическое сопротивление уменьшается, ток между электродами возрастает и увеличивается количество выделяемого тепла.

Тепловое воздействие тока происходит в соответствии с Законом Джоуля-Ленца. Опираясь на него, можно сделать вывод что, нагрев проводника зависит от его сопротивления. А отсюда следует, что мощность котла во многом зависит от электрической проводимости (сопротивления), используемого теплоносителя.

С целью повышения надежности и экономической эффективности работы отопительной системы разработаны универсальные низкозамерзающие жидкости с температурой замерзания  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а также различные водные растворы гликолей спиртов и другие жидкости, исследование которых является актуальным, поскольку исследование

теплофизических свойств различных теплоносителей позволит значительно улучшить экономические и эксплуатационные показатели, снизить накипи и пенное образование в отопительной системе, а также растворить уже имеющуюся накипь, замедлить процессы коррозии и определить экономически выгодный теплоноситель для электродных котлов.

УДК 621.438

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОСБЕРЕГАЮЩИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ЭТИЛЕН-ПРОПИЛЕН-ДИЕНОВОГО КАУЧУКА ХОЛОДНОЙ ВУЛКАНИЗАЦИИ**

И.А. ЗАКИРОВА, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р хим. наук, проф. О.Р. КЛЮЧНИКОВ

Одной из основных проблем энергосбережения в системах теплоснабжения является оптимизация потребления энергоресурсов. Значительная доля потерь тепла в тепловых сетях происходит из-за нарушения изоляции трубопроводов. Следствием этого является повышение отпуска тепла от тепловых станций и котельных и, соответственно, увеличение топливопотребления.

Для надежной защиты существующих теплотрасс, где в качестве изоляции используются минераловатные материалы в совокупности с покровным слоем из стеклоткани, авторами предложено использование защитного покрытия – композиционного материала на основе каучука СКЭПТ низкотемпературной (холодной) вулканизации.

Изучая возможность эффективного использования композиционного материала в качестве защитного покровного слоя существующей изоляции трубопроводов тепловых сетей, авторами проводились эксперименты по определению потерь тепла с поверхности трубопровода изолированного минеральной ватой, на покровный слой которого был нанесен композиционный материал на основе непредельного каучука СКЭПТ. Полученные результаты показали, что при использовании тепловой изоляции трубопроводов по схеме «минеральная вата + стеклоткань + защитный композиционный материал» эффективность теплоизоляции возросла на 4 %, в сравнении с обычной схемой «минеральная вата + стеклоткань» и на 9 % по той же схеме, но при условии инфильтрации.

УДК 543.3

## **КОНТРОЛЬ ЖЕСТКОСТИ СЕТЕВОЙ ВОДЫ БЕСКОНТАКТНЫМ КОНДУКТОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ**

О.В. ИЛЬИН, В.И. САВИНОВ, КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. д-р хим. наук, проф. О.Р. КЛЮЧНИКОВ

Качество воды – причина многих серьезных проблем, возникающих в сетях водо- и теплоснабжения. Самыми распространенными среди них является коррозия, накипь и отложения. Правильный выбор химической водоподготовки помогает избежать этих проблем. При работе котла происходит постоянное накопление солей жесткости, неорганических соединений кальция и магния, отложения которых вызывают известные нежелательные последствия.

В связи с этим непрерывный контроль качества воды является актуальной проблемой.

На взгляд авторов, перспективным направлением непрерывного контроля качества воды может стать использование двухконтурного кондуктометра. Конструкция прибора позволяет исключить погрешность измерений вызванных колебаниями напряжения и частоты.

Проведенные исследования бесконтактного кондуктометра с целью выявления чувствительности прибора при температуре  $25 \pm 0,5$  °С, показали возможность его использования для определения жесткости сетевой воды.

Программой экспериментальных исследований было предусмотрено проводить замеры выходного сигнала при изменении частоты от 3–20 кГц при разной концентрации испытуемого раствора.

Проведены экспериментальные исследования воды до входа в На-катионитовый фильтр и после, а также питательной воды для барабанных котлов типа БКЗ-210/140 с удельной электропроводностью 0,4 мкСм/см. По результатам этих исследований были построены графики, позволяющие утверждать, что чувствительность установки достаточна для контроля питательной воды барабанных котлов на Казанской ТЭЦ-2 бесконтактным кондуктометрическим методом.

УДК 621.694.2

622.273.8

## МЕХАНИЗМ ВЫДЕЛЕНИЯ СВОБОДНОГО И РАСТВОРЕННОГО ГАЗА ИЗ МНОГОФАЗНОЙ СРЕДЫ В СТРУЙНОМ АППАРАТЕ

К.В. КАПРАЛОВА, М.А. КУЗНЕЦОВА, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р. техн. наук, проф. А.Я. МУТРИСКОВ

Основной проблемой в системах промыслового сбора нефти и газа и распределения потоков является разрушение нефтяной пенной эмульсии. Для решения этой проблемы может быть использован эффект инверсии фаз, достигаемый при распылении нефтегазового потока, в частности в струйных дегазаторах. Газ, содержащийся в смеси и поступающий в струйный аппарат, можно условно подразделить на свободный и растворенный.

Фактором ускорения разделения нефти от газа и отбора свободного газа можно считать инверсию фаз. Свободный газ, находящийся в виде дисперсной фазы, определяет газосодержание двухфазной системы. От величины газосодержания зависит и распределение потоков, так как оно, в свою очередь, связано с диапазоном изменения физических свойств смеси.

Для выделения растворенного газа необходимо наличие движущей силы (градиента давления). Степень дисперсности газов нефтяной смеси обуславливается величиной газосодержания.

Процесс сепарации в струйном дегазаторе после первой стадии (выделение свободного газа) переходит во вторую – выделение растворенного газа, т.е. процесс десорбции.

В системах с дисперсной фазой при малых перепадах давления, что имеет место в смесительной трубе инжектора-расширителя, дальнейшее газовыделение из нефти будет лимитироваться массопереносом в капле. При равенстве времени пребывания жидкой фазы в дегазаторе-расширителе и времени десорбции молекул растворенного газа в капле происходит полная дегазация нефти. Как только в зоне первичного дробления струи отделяется свободный газ, в каплях начинают образовываться зародышевые пузырьки растворенного газа. В дальнейшем величина газового фактора определяется скоростью выделения зародышевых пузырей в капле.

После вторичного дробления скопление капель поступает в камеру смешения, где происходит процесс десорбции растворенного нефтяного газа.

Результаты проведенного сравнения объемов выделенных газов позволяют считать, что достижение инверсии фаз в процессе дегазации способствуют увеличению скорости газовыделения.

УДК 62.1:006.354

## **СОЗДАНИЕ РАСЧЕТНОЙ МОДЕЛИ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ МИКРОРАЙОНА ГОРОДА НА ПРИМЕРЕ МИКРОРАЙОНА № 8 ЮЗ г. ВЛАДИМИРА**

П.Я. КИРЕЕНКО, ВлГУ, г. Владимир

Науч. рук. канд. техн. наук, профессор В.И. ТАРАСЕНКО

При разработке проектной документации перед инженером встает задача выбора оптимального варианта теплоснабжения одного дома, площадки застройки, микрорайона или целого города. Хаотичность в расположении зданий позволяет определить характерные параметры для тепловых сетей (такие как потери давлений в трубопроводах, тепловые потери, материальные характеристики сетей) только на стадии разработки рабочей документации, тогда как решение о подключении микрорайона города к централизованному теплоснабжению должно быть принято в кратчайшие сроки. В подобном случае необходимо иметь методику аппроксимации основных параметров застройки города с целью создания модели.

Для моделирования тепловых сетей поставлена задача: нахождение зависимости между стоимостными параметрами тепловых сетей, такими как капитальные и эксплуатационные вложения, и геометрическими параметрами расположения потребителей с целью упрощенного определения периодов окупаемости вложений.

В случае теплоснабжения целого района с многотысячным населением города от районной котельной или ТЭЦ обычно большой вклад в затраты на строительство и эксплуатацию тепловых сетей вносят магистральные трубопроводы от источника теплоты до центрального теплового пункта.

Поэтому создана расчетная модель застройки, позволяющая в короткие сроки смоделировать тепловые сети микрорайона и определить их основные параметры:

- нагрузка на участках;

- расход теплоносителя на участках (определяется тепловой нагрузкой и параметрами теплоносителя);
- потери напора (зависят от протяженности тепловых сетей);
- диаметры трубопроводов на участках;
- тепловые потери трубопроводов на участках.

УДК 621.311.001

## **СНИЖЕНИЕ ТЕПЛОПOTЕРЬ ЧЕРЕЗ ОБОЛОЧКУ КАНАЛА ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕПЛООТРАЖАЮЩИХ ЭКРАНОВ**

В.М. КОПЫЛОВ, Д.А. ЛАПАТЕЕВ, ИГЭУ, г. Иваново

Науч. рук. ст. преп. Н.Н. СМИРНОВ;

канд. техн. наук, доц. В.М. ЗАХАРОВ

Эффективность работы тепловых сетей наряду с источником и потребителем тепловой энергии влияет на эффективность работы системы теплоснабжения в целом. Показателями эффективности работы тепловых сетей являются удельные линейные тепловые потери, снижение которых является задачей энергосбережения.

Величина нормируемых и фактических тепловых потерь варьируется в зависимости от диаметра трубопровода, температурного графика и способа прокладки теплотрассы. Существуют различные конструкции тепловой изоляции трубопроводов при подземной прокладке теплотрассы, в том числе предварительно изолированные трубопроводы, минераловатные маты, пенополиуретановые скорлупы и т.д.

При подземной прокладке существенное значение в доле тепловых потерь приходится на трансмиссионные потери от нагретого внутреннего воздуха к наружному грунту через бетонную оболочку канала. Для снижения величины тепловых потерь и увеличения сопротивления теплопередачи оболочки канала нами был предложен и запатентован способ локализации рассеивания тепловой энергии внутри канала теплотрассы при помощи расположенных на расстоянии 10 мм от стенок канала теплоотражающих экранов.

Выполненный из полированной фольги теплоотражающий экран позволяет практически полностью исключить лучистый теплообмен между стенкой канала и трубопроводом тепловых сетей. Создаётся

дополнительное термическое сопротивление за счёт создания воздушной прослойки между экраном и стенкой канала.

Натурное исследование данной конструкции было проведено в лаборатории ТМО ПП ИГЭУ, а математическое моделирование произведено с помощью программы Phoenix. В ходе эксперимента получено значительное снижение величины тепловых потерь через оболочку канала.

УДК 338.28

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СОСТАВЛЕНИЮ РАСХОДНОЙ ЧАСТИ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО БАЛАНСА ПРЕДПРИЯТИЯ С УЧЕТОМ ПОТЕНЦИАЛА ЭНРГОСБЕРЕЖЕНИЯ**

Е.О. КУТУМОВА, ИГЭУ, г. Иваново

Науч. рук. д-р экон. наук, проф. В.И. КОЛИБАБА

Топливо-энергетический баланс (ТЭБ) является важнейшим инструментом планирования и пропорционального развития отраслей народного хозяйства, который характеризует структуру производства и потребления энергоносителей.

При составлении ТЭБ региона важное значение имеет изучение потенциала энергосбережения по отдельным группам потребителей топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) и его влияния на общий баланс региона. Для достижения максимальной энергоэффективности в любом производстве необходимо определить и полностью использовать имеющийся потенциал энергосбережения.

В Ивановском регионе текстильная отрасль является одной из наиболее значимых с точки зрения энергопотребления. Государством предусмотрено дальнейшее развитие текстильной промышленности в России, в том числе формирование межрегионального текстильного кластера в Ивановской области.

Существующие в настоящее время высокоэффективные научные разработки в области энергосбережения для текстильной отрасли позволяют в разы сократить потребление тепловой и электрической энергии и тем самым существенно изменить баланс предприятия, отрасли и региона в целом.

В результате проведенных исследований разработана методика расчета ТЭБ региона с учетом реализации потенциала энергосбережения у наиболее энергоемких потребителей энергоресурсов, в частности у предприятий текстильной отрасли. По данной методике при расчете ТЭБ его расходная часть уменьшается на величину экономии энергоресурсов, полученной в результате внедрения энергосберегающих проектов. Эта величина определяется на основе реально достигнутого сокращения потребления энергоресурсов за предыдущий период.

В докладе приводятся примеры использования на текстильных предприятиях высокоэффективных энергосберегающих проектов, позволяющих снизить в 2–3 раза технологические расходы энергоносителей.

Подобный подход можно применить к расчету ТЭБ предприятий других отраслей промышленности, с целью выявить общий потенциал повышения энергетической эффективности региона и уточнить прогнозируемые показатели ТЭБ региона.

УДК 628.4.002.2

## **ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ШИН**

Ю.Г. МАЛАХОВА, МГТУ им. Г.И. Носова, Магнитогорск

Науч. рук. канд. техн. наук, проф. Е.Б. АГАПИТОВ

Актуальной проблемой современного городского хозяйства является проблема утилизации изношенных автомобильных шин.

Для переработки отработанных автомобильных шин предлагается использовать технологию пиролизного разложения резины, которая позволяет получать в результате переработки следующие продукты: пиролизную жидкость, представляющую собой жидкую смесь углеводородов различного состава и строения, порошковый технический углерод, отходы металлического корда (черный металл), горючий газ, из смеси летучих углеводородов различного состава.

Сырье (отработанные шины) загружается в сосуд из жаростойкого материала (реторту), который помещается в печь и нагревается посредством теплопередачи через стенки реторты. В ходе термического разложения сырья образуется парогазовая смесь и углеродистый остаток – полукокс. Парогазовая смесь выводится из реторты по трубопроводу, охлаждается, пары конденсируются, а полученная жидкость отделяется от

неконденсирующихся газов. Жидкость накапливается в сборнике жидкого продукта, газ частично или полностью используется для поддержания процесса пиролиза. По окончании процесса пиролиза реторту с полукоксом извлекают из печи и устанавливают в печь реторту с сырьем.

По данным Г.М. Алексеева при переработке 1 т изношенных автомобильных шин получается 478 кг жидкого продукта и 71 м<sup>3</sup> газа. Расчеты процесса ректификации показали, что при разгоне жидкого продукта в ректификационной колонне получается 40 % бензиновой фракции и 60 % дизельной фракции, т.е. из 478 кг – 191,2 кг бензиновой фракции и 286,8 дизельной фракции.

УДК 66.045.1

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ ПУЛЬСИРУЮЩЕМ ПОТОКЕ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ**

М.Р. МАЛОВ, Н.Т. ЗАКИРОВ, Д.Э. ШЕЙДУЛЛИН, КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.А. МОРЯШОВ

В современных условиях одним из главных путей повышения экономичности энергоустановок является совершенствование теплообменного оборудования с помощью внедрения эффективных способов интенсификации теплообмена.

Задачей экспериментальных исследований является выявление характера воздействия низкочастотной пульсации одного теплоносителя на теплообмен. На лабораторной модели теплообменника исследовалось влияние параметров пульсации (амплитуды  $A$  и частоты  $f$ ) на интенсивность теплообмена. Экспериментальные исследования процесса теплообмена проводились при нагревании пульсирующего потока воды в стальной трубке внутренним диаметром 5 мм при толщине стенки 1 мм и длине 1700 мм. в теплообменнике погружного типа. Вторым теплоносителем являлась вода, температура, которой в процессе исследования была постоянной и составляла – 50 °С. Температура пульсирующего потока воды на входе в теплообменник устанавливалась и регулировалась термостатом и составляла 24 °С. Исследования проводились при значении амплитуд 7, 14, 25 мм и частот 13,6; 14,6; 14,9; 15,2; 19; 23; 25; 28,2; 31; 32,4; 35,8; 37,5; 41,5 кол/мин. Расход теплоносителя составлял 1,972; 2,417; 2,847; 3,292; 3,722 · 10<sup>-5</sup> м<sup>3</sup>/с.

Получена зависимость конечной температуры теплоносителя  $t_k$  на выходе из теплообменника от частоты и амплитуды пульсации  $t_k = f(A, f)$ .

Установлено, что в пределах при  $Re = 6203-7601$   $t_k$  растет с ростом амплитуды колебаний, а при  $Re = 8956$   $t_k$  снижается, при  $Re=10350$   $t_k$  остается практически постоянной. Такая зависимость  $t_k$  от амплитуды  $A$  характерна для всего исследованного диапазона частот  $f$ . Влияние частоты оказывает более сильное влияние на конечную температуру теплоносителя и в конечном итоге, на интенсивность процесса теплообмена.

УДК 536.24

## **МЕРОПРИЯТИЯ ПО ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТЕПЛООБМЕНА КОЖУХОТРУБНЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ**

Х.Р. НИГМАТЗЯНОВ, КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. асс. В.А. ИГОШИН

В последние годы в России проводится замена устаревшего тепломеханического оборудования в тепловых пунктах систем теплоснабжения. Используемые ранее кожухотрубные водоподогреватели (КТГО) заменяют пластинчатыми теплообменниками (ПТО), поверхности теплообмена которых набирают из гофрированных пластин. Существует мнение о том что альтернативы ПТО нет.

Альтернативным решением может стать применение кожухотрубных секций с профилированными трубками. Для поверхностей теплообмена, набираемых из профилированных труб, имеется относительно большое количество эмпирических зависимостей по теплообмену и сопротивлению. Но их анализ показал, что при обработке опытных данных некоторые особенности геометрии (в частности форма интенсификатора) не принимались во внимание или учитывались не полностью. Поэтому возникают проблемы при их обобщении. Более того, от заводоизготовителей имеется информация о значительном сокращении срока эксплуатации профилированных труб, изготовленных холодной прокаткой, по сравнению с гладкими.

Получение обобщенных теплогидравлических характеристик пластинчатых теплообменных аппаратов и профилированных труб представляется весьма актуальной и полезной с научной и практической точек зрения задачей. Это позволит сделать более универсальными методы

их расчета, глубже изучить механизм интенсификации теплообмена в профилированных трубах и каналах, более обоснованно выбирать эффективные поверхности теплообмена и теплообменные аппараты.

На установке «Исследование теплообменников и насосов» планируется проведение экспериментов, связанных с сравнением ПТО и КТТО, для эффективной работы системы горячего водоснабжения.

УДК 697.334

## МЕТОДИКА ПОДБОРА МАТЕРИАЛА И ОПТИМАЛЬНОЙ ТОЛЩИНЫ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ ТРУБОПРОВОДОВ

Р.Р. НУРИЕВ, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.М. ГУСЯЧКИН

Сегодня на централизованное теплоснабжение приходится около 40 % от общего энергопотребления в России. Потери тепла при транспортировке составляют по стране более 80 млн тонн условного топлива (т у. т.) в год при общем расходе на теплоснабжение 400 млн т у. т. в год, т.е. каждая пятая тонна условного топлива расходуется на обогрев атмосферы и грунта.

В настоящее время выпускается большое количество разнообразных теплоизоляционных материалов, которые отличаются и теплоизоляционными свойствами и стоимостью. При этом стоимость материалов часто меняется во времени и зависит от требований производителя, поэтому необходимо рассмотреть возможные варианты использования теплоизоляционных материалов. Выбор материала и оптимальной толщины теплоизоляции следует обосновывать технико-экономическими расчетами, учитывающими технические, энергетические, технологические и экономические факторы. Наиболее приемлемым критерием для выбора теплоизоляционного материала и толщины теплоизоляции являются удельные приведенные затраты, позволяющие сравнить варианты при помощи единого стоимостного критерия.

Удельные приведенные затраты определяются по формуле:

$$\Pi = (p_{и} + E_{н}) \cdot K_{и} + C_{т.п.} = \min$$

где  $p_{и}$  – годовые отчисления от стоимости изоляции в долях от единицы, 1/год ( $p = 0,08$ );  $E_{н}$  – нормативный коэффициент эффективности

капиталовложений, принимаемый равным  $0,15$  1/год;  $K_{и}$  – стоимость тепловой изоляции, руб;  $C_{т.п.}$  – годовая стоимость тепловых потерь теплопроводом, руб/год.

Сравнительные расчеты, использования в нашей зоне в качестве теплоизоляционного материала пенополиуретана (ППУ) и минеральной ваты показали, что приведенные затраты в первом случае на 20–30 % ниже.

Таким образом, определив приведенные затраты при использовании разных материалов, можно выбрать оптимальный вариант.

УДК 66.01

## МЕМБРАННЫЙ МЕТОД РАЗДЕЛЕНИЯ ГОМОГЕННЫХ СМЕСЕЙ – «ПЕРВАПОРАЦИЯ»

Д.В. ОРЛОВ, КГЭУ. г. Казань

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. А.Г. ЛАПТЕВ

«Первапорация» – это процесс, в котором жидкость при атмосферном давлении контактирует с входной поверхностью мембраны, а на противоположной стороне мембраны пермеат удаляется в виде паров с низким парциальным давлением.

Для поддержания движущей силы процесса первапорации на высоком уровне необходимо обеспечить благоприятные условия для удаления пермеата от поверхности мембраны, обращенной к дренажу и предотвратить конденсацию его паров на этой поверхности.

Существует **несколько способов** поддержания движущей силы для обеспечения стационарного разделения, при этом обычно процесс первапорации проводят двумя различными способами:

- вакуумная первапорация;
- первапорация с газом-носителем (в поток газа-носителя).

Процесс первапорации включает в себя три последовательные стадии:

- селективная сорбция на входной поверхности мембраны;
- селективная диффузия через мембрану;
- десорбция в парообразную фазу на выходной поверхности.

В сложном процессе, каким является «первапорация», происходит тепло- и массоперенос. Мембрана действует как барьер между двумя фазами – жидкостью и паром, причем считается, что фазовый переход

происходит на всем протяжении от входа в мембрану до образования пермеата.

Это подразумевает, что необходимо подводить тепло, по крайней мере, достаточное для испарения. Из-за сосуществования жидкости и пара первапорацию часто относят к своеобразному экстрактивно-дистилляционному процессу, в котором мембрана играет роль третьего компонента.

В тоже время в основе принципа разделения с помощью дистилляции лежит равновесие пар – жидкость, тогда как разделение при первапорации основано на различиях коэффициентов растворимости и диффузии.

УДК 658.264

## **ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ МНОГОЭТАЖНОГО УЧЕБНОГО ЗДАНИЯ НА ПРИМЕРЕ КОРПУСА «Д» КАЗАНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА**

П.А. ПАВЛОВ, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. В.К. ИЛЬИН

В связи с принятием на государственном уровне программы по реализации мер энергосбережения и введением обязательной энергетической паспортизации муниципальных учреждений все более актуальным становится вопрос рационального использования энергетических ресурсов на данных объектах. Первостепенно принимаемыми мерами по реализации мер энергосбережения в области теплоснабжения являются мероприятия по улучшению тепловой изоляции ограждающих конструкций зданий. Кроме того, особое внимание следует уделить установлению и поддержанию оптимальных параметров микроклимата в помещениях, и главная роль в этом отводится системам теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования. Весьма часто в многоэтажных зданиях можно наблюдать дисбаланс системы отопления, проявляющийся в недостаточном или излишнем подогреве воздуха в отдельных помещениях. Следовательно, работа системы отопления считается неудовлетворительной. В этом случае необходимо выявить и устранить причину некачественной работы. Обычно основными причинами этого являются ошибки, допущенные в ходе проектирования,

настройке или эксплуатации системы отопления. В процессе эксплуатации таких систем люди, находящиеся в помещениях с недостаточным отоплением, вынуждены использовать дополнительные обогревательные приборы, повышающие расход энергии, а те, кто находится в помещениях с излишним обогревом, открывают форточки, увеличивая тем самым теплопотери. Таким образом, происходит перерасход тепловой и электрической энергии.

Для устранения данных недостатков необходимо выявить ошибки, допущенные при проектировании, пуско-наладочных работах и эксплуатации системы теплоснабжения, а также разработать комплекс периодических эксплуатационных мероприятий, направленных на дальнейшее недопущение разбалансировки системы, в число которых также можно включить и разработку системы автоматизированного управления системой теплоснабжения.

УДК 621.34:628.1

## **О ВОЗМОЖНОСТЯХ РАСШИРЕНИЯ ОБЛАСТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЧАСТОТНО – РЕГУЛИРУЕМОГО ПРИВОДА В СИСТЕМЕ ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА**

Д.А. САРАЧЕВА, АГНИ, г. Альметьевск  
Науч. рук. д-р техн. наук, проф. А.И. АНТИПОВ;  
канд. техн. наук, доц. Р.И. ВАХИТОВА

Одной из главных задач городского хозяйства по обеспечению нормальных бытовых условий населения является создание эффективных систем водоснабжения, отопления, канализации, а также пассажирского электрического транспорта. Важнейшим средством автоматизации являются частотно-регулируемые приводы (ЧРП), применяемые с целью повышения эффективности и надежности их работы, энергосбережения, увеличения ресурса электротехнического и механического оборудования. Как показывает мировая и отечественная практика, внедрение ЧРП для насосов в систему водоснабжения позволяет снизить потребление электроэнергии на 30–50 % (так как избыточный напор в этом случае не создается). Помимо снижения расхода электроэнергии, экономический эффект ЧРП увеличивается за счет: уменьшения количества дежурного и ремонтного персонала, повышения ресурса электродвигателей, повышения надежности гидросистем. Применение ЧРП, система управления которых

основана на микроконтроллерах с программным обеспечением, в муниципальных котельных дает возможность адаптировать электропривод к конкретному объекту, имеющему свои требования. Наибольший эффект от управляемых электроприводов может достигаться в механизмах непрерывного действия, так как с изменением производительности котельной установки тем или иным способом приходится ограничивать и их производительность. Общая экономия в этом случае суммируется за счет улучшения энергетических показателей котельной установки, уменьшения потребления электроэнергии, увеличения срока службы приводных механизмов, увеличения срока службы контактно-коммутационной аппаратуры, улучшения характеристик питающей сети. Эффективность использования асинхронного тягового привода в городском электрическом транспорте (трамваях и троллейбусах) обусловлена рядом существенных преимуществ: простота конструкции, отсутствие коллектора и щеточного контакта, малые эксплуатационные расходы, высокая надежность, меньшие удельные массогабаритные показатели, более высокие предельные частоты вращения. Достоинством такого ЧРП является то, что автоматический инвертор напряжения без каких-либо дополнительных силовых элементов осуществляет переключение режимов тяга – тормоз и реверсирование вращения асинхронного двигателя.

УДК 536:699.8

## **СОВРЕМЕННЫЙ СПОСОБ СТРОИТЕЛЬСТВА ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ**

Т.В. ТРОФИМОВА, В.С. ФЕДОТОВА, АГНИ, г. Альметьевск.

Науч. рук. асс. Э.В. АБРАМОВА

Труба с заводской пенополимерминеральной тепловой изоляцией (ППМ) является отечественной разработкой и менее популярна, чем иностранная технология с трубами в пенополиуретане (ППУ). Формула полимера была изобретена советскими учеными НИИ «ВНИПИЭнергопром» еще в 70-е годы. Только с 2003 года данный полимерматериал начал широко применяться в производстве как новый тип изоляции труб, предназначенных для бесканальной прокладки. ППМ изоляция трубопроводов представляет собой теплоизоляционный слой жесткого закрытоячеистого пенополиуретана с минеральным наполнителем, нанесенный на наружную поверхность стальной трубы. При

этом наружная поверхность ППМ изоляции является водонепроницаемой и одновременно – паропроницаемой, а внутренняя поверхность, прилегающая к стальной трубе, защищает стальную трубу от коррозии.

При заливке изолирующей массы в форму на трубе образуются три слоя: нижний слой – антикоррозийный; средний слой – теплоизоляционный; верхний слой – механогидрозащитный.

По сравнению с другими конструкциями теплопроводов (в частности ППУ), теплопроводы в ППМ изоляции отличаются:

- дешевизной;
- высоким качеством и мономерностью теплоизоляционного слоя (без раковин и пустот, присущих технологии производства теплопроводов в ППУ-изоляции);
- ремонтпригодностью;
- стойкостью к старению;
- паропроницаемые конструкции перспективнее, надежнее и долговечнее сплошной герметизации полиэтиленовой оболочкой (ППУ изоляцией).

Почти тридцатилетняя успешная эксплуатация теплопроводов, в которых отсутствует сплошная герметизация, а сам материал изоляции обладает гидрофобностью, подтверждает, что такие конструкции имеют преимущества перед другими типами изоляции.

УДК 662.998:678

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СКЭПТ**

Б.А. ХАФИЗОВ, КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. асс. И.А. ЗАКИРОВА

В рамках научного направления по разработке новых изолирующих материалов на основе каучуков марки СКЭПТ были продолжены работы по исследованию теплоизоляционных свойств защитных композиционных материалов.

Цель эксперимента – определить на сколько выгодно использовать материал пропитанный СКЭПТ для теплоизоляции отопительного трубопровода.

СКЭПТ пригоден к длительной эксплуатации в пределах от  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $130\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Он обладает хорошей стойкостью к разбавленными

неорганическими и органическим кислотам, полярным органическим средам, окислительным средам, щелочам.

На лабораторной модели трубопровода проводилось исследование теплоизоляционного материала СКЭПТ. Установка состоит из участка трубопровода изолированного тепловой изоляцией из минеральной ваты с покровным слоем из стеклоткани. В полость изолированного участка трубопровода помещена термопара и нагревательное устройство. Исследование проводится в естественных условиях при низких температурах наружного воздуха.

УДК 697.4

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛООВОГО НАСОСА В СИСТЕМЕ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**

Л.Э. ХУСАИНОВА, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. В.К. ИЛЬИН

Определенная роль в решении проблем энергосбережения принадлежит теплонасосным установкам.

Использование теплового насоса вместо традиционных источников тепловой энергии экономически выгодно: отсутствует процесс горения; отсутствует необходимость в закупке, транспортировке, хранении топлива и расходе денежных средств, связанных с этим; взрыво- и пожаробезопасность; экологическая безупречность и т.д. Поэтому выполняемая работа, посвящена изучению повышения эффективности теплового насоса в системе теплоснабжения путем выбора оптимального варианта хладагента является актуальной.

Целью работы является исследование влияния теплофизических свойств хладагентов на эффективность работы теплонасосной установки.

Исследование основано на составлении алгоритма и программы расчета тепловых режимов теплового насоса с помощью метода математического моделирования. Исследование проводилось для хладагентов R-12, R-22, R-407 C и R-502. В ходе проведения исследования расчеты и графики обрабатывались в пакете программ Q-Basic и Mathcad.

В ходе исследования были построены зависимости теплопроизводительности, потребленной электрической мощности,

коэффициента преобразования от температуры низкопотенциального источника теплоты на входе в испаритель для исследуемых хладагентов.

Планируется проведение эксперимента, целью которой является исследование влияния расхода теплоносителя на эффективность работы теплового насоса при циркуляции воды в системе отопления.

Полученные зависимости для теплового насоса могут быть использованы при проектировании теплонасосных установок.

УДК 66.045

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛООБМЕНА В ТЕПЛОПЕРЕДАЮЩИХ УСТАНОВКАХ БЛОЧНОГО ТЕПЛООВОГО ПУНКТА**

Г.М. ШАКИРОВА, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, асс. Д.В. РЫЖКОВ

Блочный тепловой пункт (БТП) представляет собой собранные на раме в общую конструкцию отдельные функциональные узлы, как правило, в комплекте с приборами и устройствами контроля, автоматического регулирования и управления.

Основной теплопередающей установкой БТП является пластинчатый теплообменник, в котором осуществляется передача теплоты от горячего теплоносителя к холодной среде через стальные, медные, графитовые гофрированные пластины, стянутые в пакет.

Наиболее распространенной рабочей средой в пластинчатом теплообменнике является вода. Она экологически и токсикологически безопасна и экономически выгодна. Вода, используемая в теплоэнергетике, по ряду причин имеет большой набор агрессивных свойств, что приводит к снижению эффективности эксплуатации систем теплоснабжения в значительной степени связанной с образованием термобарьерных отложений на функциональных поверхностях, которые существенно влияют на снижение термодинамической эффективности, надежности и ресурса теплоэнергетического оборудования. Образовавшиеся отложения из-за своей низкой теплопроводности снижают экономичность оборудования, стимулируют коррозионные процессы, значительно повышают гидравлическое сопротивление водяных трактов оборудования и трубопроводов, что приводит к перерасходу топлива и электроэнергии на транспортировку рабочего тела и теплоносителя.

Альтернативным решением этих проблем является полная замена воды как теплоносителя на антифризы. А наиболее распространенной основой антифриза является этиленгликоль и пропиленгликоль. Эти антифризы обладают высокими теплофизическими свойствами и температурой замерзания до  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Но этиленгликоль обладает важным недостатком – он является ядом (смертельная доза для человека 50–150 мл).

Таким образом, исследование антифриза как теплоносителя является актуальным в современной теплоэнергетике.

УДК 630\*839:631.571/.574

## **ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ**

Ю.А. ШМИДТ, МГТУ им. Г.И. Носова, Магнитогорск  
Науч. рук. канд. техн. наук, проф. Е.Б. АГАПИТОВ

Одной из актуальных задач лесной промышленности видится использование биотоплива, и в частности древесины, как основного вида возобновляемых энергетических ресурсов. Ее использование позволит: во-первых, решить проблему утилизации древесных отходов на деревообрабатывающих предприятиях; во-вторых, получать дешевую энергию; в-третьих, снизить количество экологически вредных выбросов в атмосферу, так как выделяющийся при сгорании древесного топлива углекислый газ повторно используется в процессе прироста биомассы и не нарушает естественного баланса углекислого газа в атмосфере земли.

Для того чтобы повысить КПД и автоматизировать процесс загрузки топлива были разработаны пеллеты – цилиндры диаметром 4–10 мм и длиной 20–50 мм. Сырье для производства пеллет – стружка и опилки, которые подсушиваются, измельчаются и прессуются. При этом их объем уменьшается в 5–10 раз.

Энергоемкость пеллет составляет около 5 кВт/кг (зависит от качества пеллет – влажности и плотности), т.е. при сжигании 1 кг пеллет выделяется 5 кВт тепловой энергии.

Теплотворная способность древесных гранул сравнима с углем и составляет 4,3–4,5 кВт/кг.

Гранулы обладают низкой зольностью при сгорании. Зола может использоваться как удобрение. Топливные гранулы – экологически чистое топливо с содержанием золы не более 3 %.

Прямое сжигание твердых топлив не рационально из-за низкого коэффициента полезного действия. Коэффициент полезного действия существующих малых котлов при слоевом сжигании твердых топлив ни при каких условиях не превышает 50 %. Следует отметить, что при работе на кусковых отходах деревообработки мощность котла снижается на 20–30 % в зависимости от влажности топлива, а при добавке к топливу опилок и стружки мощность уменьшится еще больше – на 30–40 % от номинальной.

Повышение КПД возможно за счет газификации твердых топлив в чистом виде или в смеси с другими видами органического топлива. Поэтому рациональным способом получения тепловой энергии является газификация твердых топлив с производством горючих (генераторных) газов в газогенераторах.

УДК 620.9

## **ПРИМЕНЕНИЕ ПЕЛЛЕТНЫХ КОТЛОВ ДЛЯ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ В РАЙОНАХ, УДАЛЕННЫХ ОТ ГАЗОВЫХ МАГИСТРАЛЕЙ**

Р.Р. ЯРУЛЛИНА, АГНИ, г. Альметьевск  
Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Р.И. ВАХИТОВА

В качестве альтернативы системам на газе, жидком топливе и угле предлагаются популярные в Европе автоматизированные отопительные системы на пеллетах.

Пеллетные котлы – это новый вид отопительного оборудования, обладающий рядом преимуществ: экологическая чистота, автоматизация процесса сжигания и экономичность. Камера сгорания этих котлов относительно небольшая, так как основной теплосъем происходит в хорошо развитой многоходовой конвективной части котла (до 70 %). В результате такой конструкции пеллетного котла температура уходящих газов составляет всего 120–140 °С. Теплотворность древесных гранул равна 5 кВт/ч на один килограмм. При этом энергосодержание одного килограмма древесных гранул равно половине литра жидкого топлива (топливного дизеля). Котел обеспечивает более высокий КПД при

сгорания гранул и составляет 85–97 %. Система отопления древесными гранулами гарантирует полную взрыво- и пожаробезопасность.

Одной из задач в энергетике является применение энергосберегающих технологий и оборудования, сокращение тепловых потерь при реализации продукции. Внедрение пеллетных котлов способствует решению данной задачи.

Согласно растущей тенденции по развитию производства пеллетного топлива в каждом крупном городе средней полосы России, можно не опасаться дефицита.

## СЕКЦИЯ 9. ТЕПЛОФИЗИКА

УДК 697.4

### К ВОПРОСУ О ПРИМЕНИМОСТИ ТЕПЛОВОГО НАСОСА В СИСТЕМАХ ОТОПЛЕНИЯ

Р.Ф. АБДУЛХАЕВ, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Т.О. ШИНКЕВИЧ

Практически неисчерпаемым источником дешевой тепловой энергии является тепло канализационных стоков. Температура хозяйственно-бытовых канализационных стоков колеблется в пределах 15–25 °С и даже в самое холодный период года не опускается ниже 10 °С. С канализационными стоками в природу сбрасывается огромное количество тепла. Эта тепловая энергия на данный момент никак не используется.

Расчеты показали, что при использовании тепловых насосов (ТН) в системах отопления, где в качестве отопительного прибора используются радиаторы при температуре теплоносителя в них  $t_{w2} \sim 80$  °С и температурой воды в канализационных стоках в пределах  $t_{s1} = 10$ –25 °С, коэффициент преобразования  $\varphi = 2,5$ –3. В том случае, если использовать панельно-лучистый способ отопления помещения с температурой воды в панелях  $t_{w2} \sim 40$  °С при тех же температурах воды в канализационных стоках, коэффициент преобразования ТН  $\varphi = 6$ –11.

Проведенный экономический анализ использования ТН при эксплуатации в вышеназванных условиях и тепловой нагрузке тепловой сети потребителя в 20000 кВт показал, что экономические показатели

(эксплуатационные затраты) напрямую зависят от коэффициента преобразования ТН ф.

В настоящей работе решается вопрос о применимости ТН для систем теплоснабжения (отопления и горячего водоснабжения) от НПИ в виде сточных канализационных неочищенных вод в условиях городов и поселков Республики Татарстан (РТ) в сравнении с газовой котельной малой и средней теплопроизводительности, а также с ТЭЦ.

Отмечено, что с ростом температуры фреона в испарителе от 5 до 20 °С ТН стоимость производственных затрат в случае использования традиционного способа (радиаторного) отопления помещений уменьшается с 30 тыс. руб. за 20000 кВт потребленной тепловой нагрузки в системе теплоснабжения для ТН до 25 тыс. руб. При этом затраты потребителя на закупку теплоты в условиях Республики Татарстан от газовой котельной составляют ~ 21 тыс. руб. и от ТЭЦ – ~ 8,5 тыс. руб. Таким образом, отопление от ТН с использованием сточных канализационных вод в качестве НПИ не может конкурировать с котельными и тем более с ТЭЦ.

Экономическая ситуация резко меняется, если использовать панельно-лучистое отопление помещений. Стоимость теплоты величиной 20000 кВт, отпущенной потребителю в течение 1 часа почти в 2 раза ниже, чем от газовой котельной, и соизмерима с теплотой от ТЭЦ.

УДК 541.62

## **О КОНФОРМАЦИОННОМ РАВНОВЕСИИ НЕКОТОРЫХ ТИОФОСФАТОВ ПРИ ФАЗОВЫХ ИЗМЕНЕНИЯХ**

Н.Ф. ВАФИН, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р хим. наук, проф. Ф.Г. ХАЛИТОВ

В данной работе методом ИК-спектроскопии исследованы молекулы соединения  $(S)P(OC_6H_4-Cl)_3$  и  $(S)P(OC_6H_5)_3$ , вращение в которых может происходить вокруг Р-О связей. Методом ИК-спектроскопии изучены их конформационные равновесия в жидком, кристаллическом состоянии и растворах различной полярности. Выявлены ИК-полосы чувствительные к конформационным изменениям. Для доказательства наличия равновесия были проведены эксперименты с варьированием температуры и диэлектрической проницаемости среды. Изменения соотношения относительных интенсивностей полос дублетной полосы  $\nu(P = S)$  при этих

экспериментах свидетельствует, что эти соединения существуют в виде равновесия двух поворотных изомеров (1) и (2) с различными энергиями внутримолекулярных взаимодействий и отличающимися дипольными моментами.

Температурные исследования при охлаждении этих растворов позволили количественно рассчитать величины относительных энергий.

Дополнительно для оценки относительных дипольных моментов конформеров 1 и 2 проведены эксперименты в растворах разной полярности.

УДК: 541.182.213:621.928.95

## ИНЕРЦИОННОЕ ОСАЖДЕНИЕ ВЗВЕШЕННЫХ ЧАСТИЦ ПРИ ОБТЕКАНИИ ПОРИСТОГО ЦИЛИНДРА

О.В. ГРИГОРЬЕВА, КГЭУ, г. Казань

Исследуется течение газа со взвешенными частицами вокруг одиночного пористого цилиндра радиуса  $r_c$ . Поле течения несущей среды вне цилиндра описывается в приближении уравнений Навье-Стокса для несжимаемого газа, в области пронизываемого цилиндра решаются уравнения Бринкмана-Форхгеймера. Уравнения несущей среды решаются методом конечных объемов в пакете FLUENT. Система уравнений движения взвешенных частиц численно интегрируется в найденном поле скоростей несущей среды.

Свойства рассматриваемого дисперсного течения характеризуются безразмерными параметрами: число Рейнольдса  $Re = \rho U_0 2r_c / \mu$  ( $\rho$  – плотность воздуха,  $U_0$  – скорость невозмущенного потока,  $\mu$  – коэффициент динамической вязкости), число Дарси  $Da = k / r_c^2$  ( $k$  – проницаемость пористой среды), число Стокса  $St = U_0 \tau_p / r_c$  ( $\tau_p$  – время релаксации частицы).

Примеры линий тока течения газа и траекторий частиц даны на рис.1.

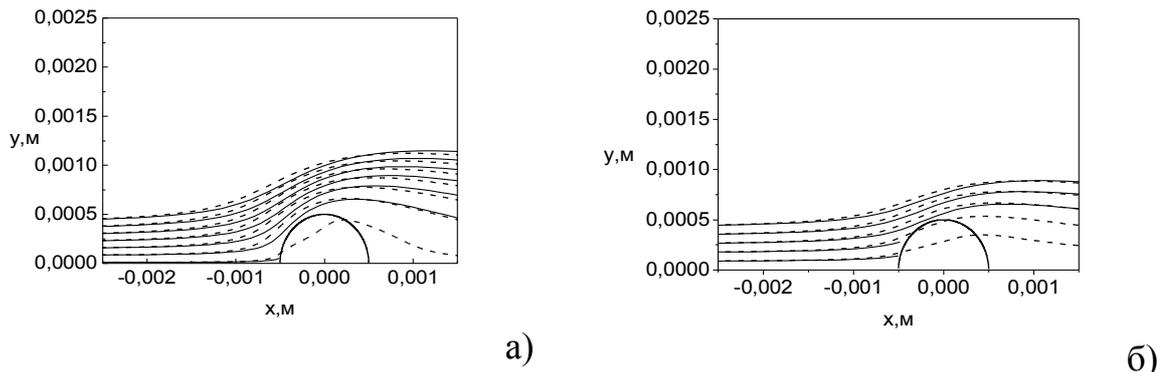


Рис.1. Траектории частиц (сплошные кривые) и линии тока газа (штриховые кривые)  $Re = 10$  для  $St = 0,353$  ( $d_p = 20$  мкм) при  $Da = 0,01$ (а) и  $Da = 0,1$  (б)

Для расчета эффективности  $E$  осаждения частиц при обтекании пористого цилиндра рассчитываются траектории частиц, стартующие вдали от цилиндра. Все частицы, достигшие поверхности пористого цилиндра, считаются осевшими. При большом числе стартующих частиц эффективность  $E$  может быть вычислена как отношение количества осевших на цилиндре частиц к общему числу всех частиц.

Проведены параметрические исследования эффективности осаждения частиц при различных  $Re$ ,  $St$ ,  $Da$ .

УДК 536.24

## ТЕПЛОВАЯ МОДЕЛЬ ОХЛАЖДАЕМОГО ПОРИСТОГО ЦИЛИНДРА С ПЕРЕМЕННОЙ ПО ДЛИНЕ ТЕМПЕРАТУРОЙ ПОВЕРХНОСТИ

В.А. ДАНИЛОВ, КГЭУ, г. Казань, Р.А. НАЗИПОВ, КазНЦ РАН, г. Казань  
Науч. рук. д-р техн. наук, доц. Ю.А. КИРСАНОВ

Ранее была аналитически решена сопряженная задача стационарного теплообмена пористого цилиндра с охлаждающим однофазным теплоносителем при постоянной температуре наружной поверхности пористого тела. В действительности эта температура обычно меняется по ходу движения теплоносителя, что потребовало доработки ранее построенной модели.

Для учета изменения температуры боковой поверхности пористого цилиндра вводится поле фиктивной температуры:

$$\varphi_{\text{ек}}(x, y) = \theta_{\text{ек}}(x, y) - f(y) ; \quad \varphi_{\text{ф}}(x, y) = \theta_{\text{ф}}(x, y) - f(y) , \quad (1)$$

где  $\theta_{ск}(x, y)$  и  $\theta_{ж}(x, y)$  – действительные относительные температуры каркаса и теплоносителя, соответственно, а  $f(y)$  – функция распределения температуры на боковой поверхности (рис. 1).

Подстановкой (1) в уравнения известной сопряженной задачи получена сопряженная задача теплообмена для фиктивных температур, которая решена с помощью конечных интегральных преобразований Фурье-Ханкеля.

Проверка соответствия расчетной температуры теплоносителя (рис. 2) на выходе из пористого тела (линия 6) действительной температуре (точки 7) показала их удовлетворительное согласие.

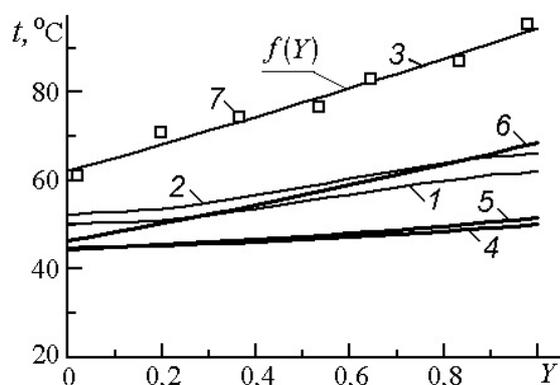


Рис. 1 Продольное распределение температур

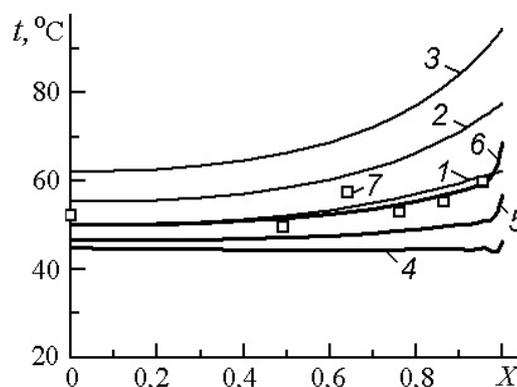


Рис. 2 Радиальное распределение температур

1–3 – каркаса; 4–6 теплоносителя; 1, 4 – на входе ( $Y=0$ ) или на оси ( $X=0$ ); 2, 5 – в средней части ( $Y=0,5$ ) или на среднем радиусе ( $X=0,5$ ); 3, 6 – на выходе ( $Y=1$ ) или на стенке пористого тела ( $X=1$ ); 7 – показания термопар на наружной поверхности каркаса ( $X=1$ )

УДК 621.039.519

## ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ НА ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКОЕ КАЧЕСТВО АКТИВНОЙ ЗОНЫ РЕАКТОРА AVR

Г.Г. ЗАГИДУЛЛИН, КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. д-р техн. наук, проф. В.В. ОЛИМПИНЕВ

Среди величайших достижений XX века наряду с освоением космоса, генной и полупроводниковой технологиями открытие атомной энергии и овладение ею занимает особое место.

Человечество получило доступ к громадному и потенциально опасному источнику энергии, который нельзя ни закрыть, ни забыть о нем – его нужно использовать не во вред, а на пользу человечеству.

Атомная отрасль и прогресс науки едины и обеспечивают безопасность России, являясь гарантом ее будущих научно-технических достижений.

В XXI веке истощение энергоресурсов уже не является первым ограничивающим фактором. Главным становится фактор ограничения предела экологической емкости среды обитания.

Несмотря на то, что радиация является одним из многих естественных факторов окружающей среды, лежащих в основе развития всего живого, она вызывает патологический страх при упоминании.

Наиболее безопасными, с точки зрения радиации, являются высокотемпературно-газоохлаждаемые реакторы. Это обеспечивается за счет теплоносителя, который радиоактивно не активируется.

В данной работе расчеты сделаны для высокотемпературно-газоохлаждаемого реактора типа AVR. Рассматривается влияние давления теплоносителя на теплогидравлическое качество активной зоны реактора AVR.

Рассмотрено влияние вариации давления в диапазоне  $\pm 50\%$ . При этом получен результат:

- увеличение давления приводит к уменьшению потери на ускорение, что дает незначительное увеличение коэффициента эффективности реактора;

- уменьшение давления дает повышение потери на ускорение, что является отрицательным фактором.

Из этого можно сделать вывод: увеличение или уменьшение давления не столь сильно влияет на теплогидравлическое качество активной зоны реактора AVR.

УДК 535.2

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ИНТЕРВАЛА И СПЕКТРАЛЬНОГО ДИАПАЗОНА ДЛЯ РАСЧЕТА ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

И.А. ЗАГРАЙ, ВятГУ, г. Киров  
Науч. рук. д-р техн. наук, проф. В.А. КУЗЬМИН

При расчете теплообмена излучением в двигателях и энергоустановках необходимо учитывать долю излучения в данном спектральном интервале. Процентная доля излучения абсолютно черного тела (АЧТ) в интервале  $\lambda_1$ – $\lambda_2$  при заданной температуре  $T$  определяется соотношением:

$$P_{\lambda_1-\lambda_2}(T) = \frac{100\%}{\sigma T^4} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E_\lambda d\lambda = \frac{100\%}{\sigma T^4} \left( \int_0^{\lambda_2} E_\lambda d\lambda - \int_0^{\lambda_1} E_\lambda d\lambda \right) = P_{0-\lambda_2}(T) - P_{0-\lambda_1}(T)$$

В программе Mathcad построены графические зависимости для  $P_{0-\lambda}$  в интервале температур от 300 К до 3500 К (рис. 1). Используя полученные результаты, можно дать оценку экспериментальным данным при измеренной температуре и выбранном спектральном интервале.

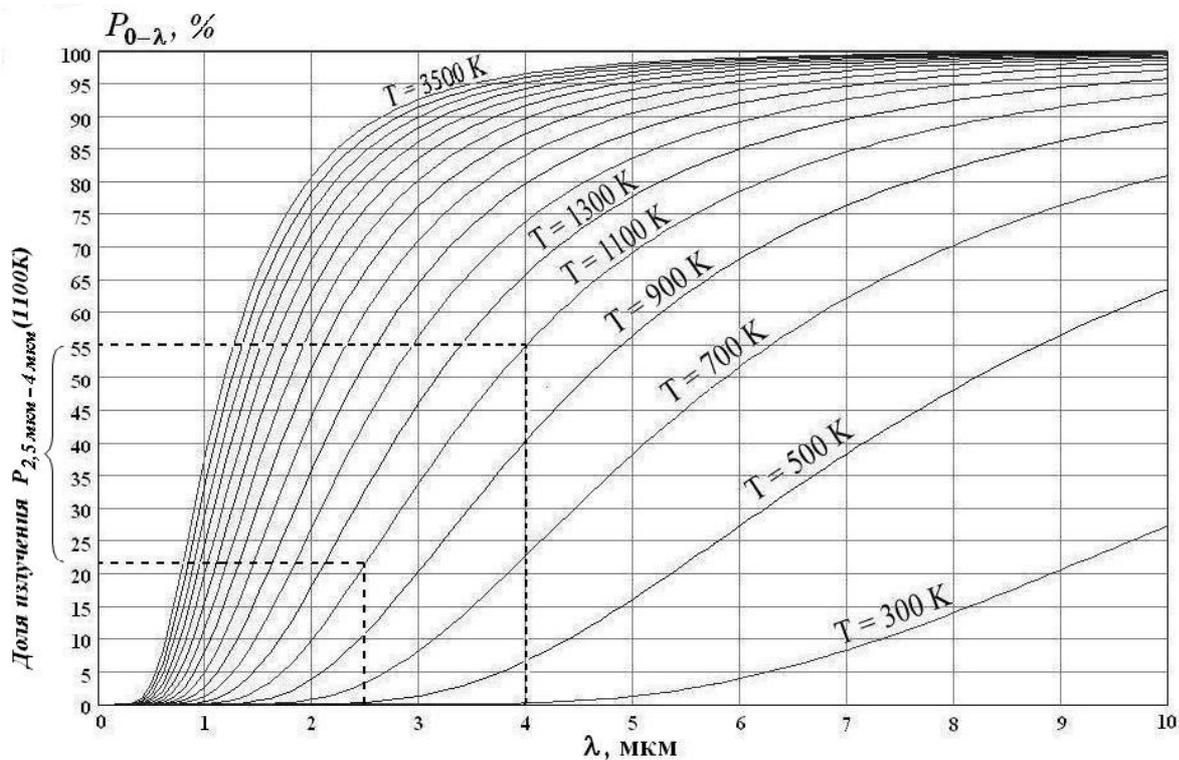


Рис.1 Доля интегральной плотности потока излучения АЧТ в интервале  $0 - \lambda$ . Шаг по температуре  $\Delta T = 200$  К.

Пример вычислений:

$$P_{2,5\text{ мкм}-4\text{ мкм}}(1100\text{ К}) = P_{0-4\text{ мкм}}(1100\text{ К}) - P_{0-2,5\text{ мкм}}(1100\text{ К}) = 55\% - 22\% = 33\%$$

УДК 621.187

## УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИНТЕНСИВНОЙ ОЧИСТКИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ВОДЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН

Н.Х. ИЛЬЯСОВ, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.Е. КОНДРАТЬЕВ

Очистка воды является одной из основных задач в современном мире. Она имеет важнейшее значение, как в бытовых, так и промышленных масштабах. Особенно актуальна водоочистка и водоподготовка в мегаполисах.

В связи с этим предлагается водоочистка технической воды под воздействием акустических волн определенной частоты.

Для проведения экспериментальных исследований были поставлены следующие задачи:

- 1) разработать и изготовить акустический измерительный комплекс;
- 2) разработать способ измерения концентрации неорганических загрязнений технической воды;
- 3) определить методику обработки и представления полученных результатов измерений.

Целями экспериментальных исследований были выбраны:

- 1) поиск перспективного способа подготовки технической воды;
- 2) установление возможности применения метода звукового воздействия на загрязненную воду с целью увеличить осадкообразование взвесей в зависимости от времени.

Известно, что акустические колебания вызывают в жидкости качественно и количественно отличные друг от друга процессы, каждый из которых и характеризует свой режим воздействия.

Принцип действия установки основан на увеличении скорости выпадения в осадок неорганических соединений путем воздействия на них звуковых колебаний определенной частоты, т.е. реализация эффекта стоячей волны.

Экспериментальные исследования проводились в 2 этапа:

- при естественном осаждении без акустического воздействия;
- при воздействии акустическим излучением.

По показаниям строим зависимость изменения концентрации прозрачности от времени без акустического воздействия и с акустическим воздействием, из которого видно, что скорость выпадения взвеси в осадок под акустическим воздействием увеличилось в среднем на 20 %.

## РАДИАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗЛУЧЕНИЯ МОНО- И ПОЛИДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ ЧАСТИЦ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Н.А. КУТЕРГИНА, ВятГУ, г. Киров  
Науч. рук. д-р техн. наук, проф. В.А. КУЗЬМИН

Целью работы является комплексное расчетное исследование оптических свойств (комплексный показатель преломления), радиационных характеристик единичных частиц (сечения поглощения, ослабления и рассеяния и индикатрису рассеяния), радиационных характеристик единичного объема (спектральные коэффициенты поглощения, ослабления и рассеяния) и характеристик излучения (интенсивность, спектральные и интегральные потоки и плотности потоков энергии излучения и степень черноты) моно- и полидисперсных систем частиц ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$  и т.п.) энергетических установок. Для этого в работе была использована комплексная программа, разработанная в Вятском государственном университете.

Исходными данными для поставленных расчетов являлись термо- и газодинамические параметры (плотность пыли  $\rho$ , средний по удельной поверхности диаметр  $d_{\text{ср}}$ , химический состав по массе (в %-ном соотношении), толщина слоя  $L = 80$  мм, массовая доля  $Z$ , молярная масса  $M$ , концентрации частиц, давление  $P$ , температура  $T$  и т.п).

Важнейший исходный параметр – комплексный показатель преломления:  $m = n_1 - n_2 \cdot i$ , где  $n_1$  – показатель преломления,  $n_2$  – показатель поглощения частиц конденсированной фазы продуктов сгорания.

Также при расчете характеристик учитывалась газовая фаза. Расчеты проводились при разных температурах ( $T = 850$  К,  $2000$  К,  $3125$  К). Спектральный диапазон  $\lambda = 0.1 - 10$  мкм (чтобы доля максимального излучения попадала в этот диапазон).

В работе произведен комплексный расчет характеристик излучения и радиационных характеристик промышленных и энергетических установок (котел ТОП-35/40, котел УЭЧМ-67, котел БКЗ-210-140, котел КУ-125). Полученные характеристики представлены в табличной форме. Также по результатам вычислений построены графические зависимости характеристик от длины волны, температуры, состава. На основании этого можно давать качественную и количественную интерпретацию

физического эксперимента по исследованию характеристик моно- и полидисперсных систем частиц.

УДК 536.7:53

## **РАБОЧИЕ РЕАГЕНТЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА БИТУМНЫЙ ПЛАСТ И ПРИЗАБОЙНУЮ ЗОНУ ПЛАСТА**

Д.В. МАЗАНКИНА, АГНИ, г. Альметьевск  
Науч. рук. д-р техн. наук, проф. А.И. АНТИПОВ

В качестве теплоносителей при термическом воздействии на битумный пласт в настоящее время применяются вода и насыщенный водяной пар. Пар как тепловой агент обладает следующими отличительными свойствами и преимуществами:

- Высоким теплосодержанием благодаря скрытой теплоте парообразования. При давлении 1,5 МПа и температуре плюс 198 °С удельная энтальпия горячей воды не превышает 843 кДж/кг, а пара с сухостью 0,8 – составляет 2790 кДж/кг. То есть теплосодержание пара при сухости 0,8 превышает теплосодержание горячей воды в 3,3 раза и в пласт можно ввести значительно больше тепла (в расчете на единицу массы закачиваемого агента), чем при нагнетании горячей воды.

- Благодаря скрытой теплоте парообразования потери тепла до определенных количеств не приводят к снижению температуры теплоносителя.

- Пар может занимать объем в 25–40 раз больше чем вода.

- Удельный вес пара при степени сухости 0,8 при рекомендуемых давлениях закачки и температуре составляет 182–192 кг/м<sup>3</sup>, что в 5 раз легче удельного веса битума. Из-за разности удельных весов возникает движущая сила, выталкивающая нефть к призабойной зоне добывающих скважин.

- Приемистость нагнетательных скважин по пару в большинстве случаев намного выше приемистости их по воде из-за существующей разницы вязкости указанных теплоносителей и др.

Так как битумы обладают значительными структурно-механическими свойствами, то не рекомендуется закачку и остановку производить циклически с большим периодом.

Постоянная закачка пара через горизонтальную скважину позволяет поддерживать неизменную температуру в пределах участка разработки и

обеспечивает постоянную связь между добывающей и нагнетательной скважинами.

УДК 536.46

## МЕХАНИЗМ ГОРЕНИЯ В ТУРБУЛЕНТНОМ ПОТОКЕ

О.С. ПОПКОВА, Т.О. ШИНКЕВИЧ, КГЭУ, г. Казань

Исследование вопросов горения топлива в турбулентном потоке представляет большой интерес для науки и техники. Практическое значение этой проблемы вытекает из того, что в технике сжигание топлива происходит, как правило, в условиях, когда гидродинамические свойства потока оказывают сильное влияние на процесс горения. Интенсификация же процесса находится в прямой зависимости от гидродинамических характеристик потока.

Процесс, происходящий в камере сгорания двигателя, включает в себя подготовку топлива – распыл, испарение, смесеобразование и горение. Причем все они протекают в сильной взаимосвязи и взаимозависимости. Затруднительно дать полное и точное аналитическое описание процесса горения во всей совокупности многообразных явлений. Основным допущением, принятым в этой работе, является допущение о полной однородности смеси как по фазовому состоянию, так и по распределению концентраций. Это позволит наиболее четко установить влияние физико-химических и гидравлических характеристик потока смеси на процесс горения. В то же время при значительной доле испарившегося топлива можно полагать, что процесс в камерах двигателей идет по механизму горения однородной смеси, но с наложением на него процесса горения отдельных капель топлива в зоне горения.

Рассмотренная модель является развитием представлений К.И. Щелкина о турбулентном горении.

При слабой турбулентности смена направления движения моля и переход пламени с одного моля на другой не будут лимитировать процесс распространения пламени по смеси в целом, а при сильной турбулентности молекула, несущая пламя, успеет совершить несколько движений раньше, чем пламя будет подхвачено следующей пульсацией.

Таким образом, скорость распространения пламени в этом случае будет определяться перемещением участков фронта пламени за характеристическое время горения  $t_{\text{п}}$ .

УДК 532.194

## **ВИХРЕВОЙ ЭФФЕКТ И ЕГО ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ**

М.С. САДЫКОВА, КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р. хим. наук, проф. Ф.Г. ХАЛИТОВ

В данной работе рассматривается вихревой эффект и его практическое применение. Вихревой эффект (эффект Ранка-Хилша открытый в 1931 году) – это эффект разделения газа или жидкости при закручивании в цилиндрической или конической камере на две фракции. На периферии образуется закрученный поток с большей температурой, а в центре закрученный охлажденный поток, причем вращение в центре происходит в другую сторону, чем на периферии. Конструкции устройств на основе эффекта Ранка-Хилша несмотря на их многообразие разделяют на две разновидности: пассивные и активные.

Был проведен литературный обзор имеющихся теорий вихревого эффекта для газов и жидкостей. Предложенные объяснения и теории отличаются друг от друга. По мнению авторов, гипотеза взаимодействия вихрей, предложенная А.П. Меркуловым, наиболее полно отражает специфику процессов в вихревом устройстве. В данной теории существенная роль отводится силам вязкостного взаимодействия между слоями газа, рассматривается взаимодействие движущихся навстречу периферийного и центрального закрученных потоков, а также перенос энергии от осевых слоев к периферийным радиальными турбулентными пульсациями газа.

Данное объяснение изменения температуры рабочего тела и его разделение на горячий и холодный потоки работает только для газов. Для жидкостей же данное объяснение не подходит, и пока единого мнения и теорий, объясняющих возникновения градиента температуры рабочего тела в жидкостях пока не существует.

Вихревой эффект применяется в практических целях в холодильных камерах, термостатах, кондиционерах для охлаждения или нагревания, применяются для разделения газовых смесей, их осушки от влаги, применяется в авиации и транспорте для создания охлаждающих устройств ответственных блоков электроприборов, в системах отопления и т.д. Область применения вихревых аппаратов настолько широка, что можно быть уверенными – они будут применяться и в будущем.

УДК 536.468

## ЗАЖИГАНИЕ ВОДОУГОЛЬНОЙ ЧАСТИЦЫ ЛУЧИСТО- КОНВЕКТИВНЫМ ТЕПЛОМ

С.В. СЫРОДОЙ, НИ ТПУ, г. Томск  
Науч. рук. д-р техн. наук, проф. В.В. САЛОМАТОВ;  
д-р техн. наук, проф. Г.В. КУЗНЕЦОВ

В России с 2006 года существует дефицит между потреблением энергии и возможностями ее производства. В результате возникает необходимость разрабатывать новые технологии подготовки и сжигания угля. Одной из таких технологий является технология производства и сжигания водоугольного топлива.

В современной технической литературе практически невозможно найти информацию о характеристиках зажигания водоугольного топлива, которые необходимы для конструкторских расчетов топочных камер котлов. Такими характеристиками являются: температура зажигания  $T_p$  и время зажигания  $\tau_p$ .

$$\text{где } \frac{\dot{Q}(0, \tau)}{\dot{Q}_h} \leq 0,65; \hat{E}_\delta = \frac{\pi \cdot \theta_i^2}{4 \cdot (Bi \cdot \theta_c + Ki_c)^2}; \quad \text{где } \frac{\dot{Q}(0, \tau)}{\dot{Q}_h} > 0,65; \hat{E}_\delta = \frac{\pi \cdot \theta_i^2}{4 \cdot (Bi \cdot \theta_c)^2}.$$

где  $\tau_p$  – безразмерное время зажигания в зависимости от различных граничных условий. Ниже приведены уравнения для нахождения температуры зажигания  $T_p$  в зависимости от различных граничных условий.

$$\text{где } \frac{\dot{Q}(0, \tau)}{\dot{Q}_h} \leq 0,65;$$

$$\rho \cdot Q_z \cdot \text{EXP} \left[ -\frac{E}{R \cdot T_p} \right] \cdot \left[ \frac{\lambda \cdot (T_p - T_H)}{\alpha \cdot (T_c - T_p) + \sigma \cdot T_c^4} \right] \cdot \frac{\pi}{2} \cdot \left( 1 + \frac{(T_p - T_H)}{(T_c - T_p)} \right)^2 = \alpha \cdot (T_c - T_H) + \sigma \cdot T_c^4;$$

$$\text{при } \frac{T(0, \tau)}{T_c} > 0,65;$$

$$\rho \cdot Q_z \cdot \text{EXP} \left[ -\frac{E}{R \cdot T_p} \right] \cdot \frac{\lambda \cdot (T_p - T_H)}{\alpha \cdot (T_c - T_p)} \cdot \frac{\pi}{2} \cdot \left( 1 + \frac{(T_p - T_H)}{(T_c - T_p)} \right)^2 = \alpha \cdot (T_c - T_H).$$

Численный анализ формул практически совпадение результатов расчетов полученных формул с результатами расчетов известных формул

из [1] при условии только конвективного подвода тепла, в случае совместного лучисто-конвективного подвода теплоты наблюдается некоторое расхождение результатов, которое можно объяснить использованием автором квазистационарной теории из [2].

Литература:

1. Вилунов В.Н. Теория зажигания конденсированных сред. – Новосибирск: Наука, 1980.
2. Зельдович Я.Б. Математическая теория горения и взрыва. – М.: Наука, 1980.

УДК 536.2

## **ПРИБЛИЖЕННЫЙ РАСЧЕТ ИСПАРЕНИЯ КАПЛИ В ГАЗОВОМ ПОТОКЕ**

М.О. ТЕМИРГАЛИЕВ, КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. канд. тех. наук, доц. О.С. ПОПКОВА

Капли, образовавшиеся при распыле топлива и движущиеся по баллистическим траекториям, постепенно испаряются. Испарение топлива происходит за счет собственной внутренней энергии капель и за счет теплоты, получаемой от окружающей среды. В процессе испарения множества капель, образующих факел, меняется как их собственная температура, так и температура окружающих газов. Образовавшиеся пары диффундируют в окружающий газ и сносятся набегающим потоком. Скорость тепло- и массообмена между каплями и окружающим газом определяется относительной скоростью движения, температурой и давлением газа, теплосодержанием капли и упругостью насыщенных паров, зависящей от температуры топлива. Таким образом, скорость испарения капель определяется четырьмя системами дифференциальных уравнений: движения, диффузии, теплопередачи и теплового баланса.

При анализе движения испаряющейся капли следует учитывать, что диаметр капли изменяется со временем. Скорость изменения диаметра определяется диффузией паров в окружающую атмосферу и собственной температурой капли, которая, в свою очередь, определяется теплоотдачей от окружающего газа и тепловым балансом капли. Четыре существующие системы дифференциальных уравнений необходимо решать совместно.

В работе рассмотрены дифференциальные уравнения движения, испарения, теплового обмена и теплового баланса капли, метод приведенной пленки, приведен приближенный расчет испарения капли в газовом потоке и вычисление потока испаряющегося вещества; использован приближенный метод расчета скорости испарения, основанный на методе приведенной пленки, разработан Франк-Каменецким; приведены зависимости для определения скорости испарения реактивного топлива, для того чтобы найти скорость испарения, необходимо знать скорость Стефановского потока испаряющегося вещества.

УДК 536.2.022

## **ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ТЕПЛОФИЗИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА**

Н.Ю. ТУЖИЛИНА, Е.П. ПОЛУНИН, Д.С. КАЦУБА, ТГТУ, г. Тамбов  
Науч. рук. д-р техн. наук, проф. Н.П. ЖУКОВ;  
канд. техн. наук, доц. И.В. РОГОВ

Основным способом получения информации о теплофизических свойствах (ТФС) веществ остается эксперимент. Сложность и большой объем экспериментальных исследований по определению ТФС традиционных и вновь синтезированных материалов требуют создания новых эффективных методов и средств контроля.

Разработана информационно-измерительная система (ИИС), реализующая многомодельный метод определения ТФС теплозащитных материалов (листовых, пористых, волокнистых и сыпучих), имеющих теплопроводность  $\lambda = 0,03 - 0,5$  Вт/(м · К). ИИС структурно состоит из трех функциональных групп. В первую группу входят первичные преобразователи температуры. Вторая группа – это аппаратные средства, которые обеспечивают преобразование аналоговых сигналов в цифровые, а также управление ИИС. Третью группу составляют математическое, алгоритмическое и программное обеспечения системы. В состав ИИС входят: тепло-измерительная ячейка (ТИЯ) на базе промышленно выпускаемых бикалориметров, блоки измерительно-управляющей подсистемы и персональный компьютер, оснащенный платой сбора данных PCI-1202H.

Определение ТФС материалов ИИС осуществляется на основании анализа аналитических закономерностей распространения тепла в системе двух тел на стадиях нагрева – стационарной и остывания.

Проверка работоспособности ИИС на различных материалах позволяет сделать вывод: за счет использования трех стадий эксперимента возможно существенно повысить достоверность определения ТФС.

УДК 532.529:534.2

## **РАСПРОСТРАНЕНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН В ДВУХФРАКЦИОННЫХ ГАЗОВЗВЕСЯХ С ПОЛИДИСПЕРСНЫМИ ЧАСТИЦАМИ РАЗНЫХ МАТЕРИАЛОВ И РАЗМЕРОВ**

Ю.В. ФЕДОРОВ, КазНЦ РАН, Казань

Науч. рук. д-р физ.-мат. наук, член-корр. РАН, Д.А. ГУБАЙДУЛЛИН

Значительный интерес к проблемам и задачам механики многофазных сред обусловлен широким распространением таких систем в природе, (например, атмосфера земли, которую, вообще говоря, нужно рассматривать как газовзвесь из-за наличия взвешенных частиц разных типов) и их интенсивным использованием в современной технике, к примеру, в энергетике и машиностроении. При этом наиболее распространенными процессами в многофазных средах являются волновые процессы, носящие нестационарный характер. Реальные дисперсные системы представляют собой смеси газа или жидкости с частицами, каплями или пузырьками разных веществ, часто с существенно различными теплофизическими свойствами, поэтому изучение волновых процессов в таких системах имеет особое значение. Исследование нестационарных волновых процессов обычно осложняется необходимостью учета полидисперсного состава (неодинаковости размеров включений) взвеси, поскольку реальные газовзвеси являются существенно полидисперсными. При описании движения таких систем следует учитывать реальное распределение диспергированных включений по размерам, а также межфазный обмен массой, импульсом и теплом.

В настоящей работе впервые изучена дисперсия и диссипация акустических волн в двухфракционных смесях газа с полидисперсными частицами разных материалов и размеров. Представлена математическая модель, получено дисперсионное соотношение, описывающее распространение плоских, сферических и цилиндрических возмущений

малой амплитуды. Получены асимптотики линейного коэффициента затухания. Рассчитаны дисперсионные кривые, проанализировано влияние параметров дисперсной фазы для двухфракционной газозвеси с частицами алюминия и льда на дисперсию и диссипацию звуковых волн.

Поведение газозвесей остается недостаточно изученным, наука о течениях взвешенных частиц продолжает развиваться.

УДК 532.075.8

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОПЕРЕЧНЫХ РАЗМЕРОВ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ**

Т.О. ШИНКЕВИЧ, О.С. ПОПКОВА, КГЭУ, г. Казань

Подвод тепла в прямоточной камере сгорания происходит благодаря распространению пламени в потоке смеси и обеспечивается непрерывной подачей свежей горючей смеси и удержанием пламени в камере. Положение пламени является стационарным при равенстве скорости его распространения и нормального к поверхности пламени компонента скорости потока. Изменение скорости потока или скорости распространения пламени будут приводить к изменению условий стационарности, т.е. к изменению положения пламени в камере. Размеры камеры сгорания определяются скоростью распространения пламени (от нее зависит положение фронта пламени в камере) и временем горения. При создании новой камеры сгорания необходимо определить ее поперечные и продольные размеры. При определении поперечных размеров необходимо учитывать, что при заданном подводе тепло нужно избежать кризиса течения на выходе из камеры, надежно стабилизировать пламя и уменьшить потери давления в камере.

При снижении скорости на входе в камеру происходит полное преобразование кинетической энергии набегающего потока в потенциальную, и, следовательно, увеличение давления на входе в камеру, что позволяет более эффективно использовать подведенное тепло, однако при низкой скорости получают большие размеры камеры, с учетом этого необходимо выбрать оптимальные величины скорости потока на входе в камеру, близкие к предельным, определяемым кризисом течения на выходе.

Целью данной работы явилось определение продольных размеров камеры по рассчитанному положению фронта пламени и ходу выделения тепла.

Для проведения расчетов создана программа на языке FORTRAN POWER STATION 6.0.

## СО Д Е Р Ж А Н И Е

### НАПРАВЛЕНИЕ: ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

#### СЕКЦИЯ 1. АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ

**Адиева Э.Ю., Мерзляков А.М.** Нейросетевое моделирование характеристик поверхностных интенсификаторов теплообмена. ....

**Бажуткин А.С., Кошеленко А.А., Мостовой А.П., Семенов С.И.** Исследование процесса индукционного нагрева как объекта управления. ....

**Билалов Р.А., Прец А.Н., Сибгатуллин И.Ф.** Разработка компьютерного симулятора для подготовки и тестирования персонала ТЭС. ....

**Васильев И.В., Домерт Е.П., Князев С.В., Кожемякин А.В.** Система автоматического регулирования процесса индукционного нагрева реактора. ....

**Гатауллин И.Ф., Махмутов Д.Р., Нугманов Р.А.** Визуализация потока при изучении гидромеханики поверхностных интенсификаторов теплообмена. ....

**Головацкий Ю.С., Зубарев С.А., Намнясов Д.В., Рубан П.И.,** Исследование динамических свойств процесса косвенного

индукционного нагрева жидкости. ....

**Киселев С.Ю.** Создание лабораторно-экспериментального стенда по проектированию, программированию, монтажу и наладке локальных автоматизированных систем регулирования. ....

**Козлов А.В., Галимов Р.Р.** Разработка и создание автоматизированного стенда на базе приборов «ЭЛЕМЕР». ....

**Лаврухин В.О., Сяткин Д.А.** Выбор частоты и плотности мощности для автоматизированных систем индукционной термообработки. ....

**Мингатын И.И.** Модель интерфейса операторской станции управления прямоточным котлом. ....

**Нугманов Р.А., Дорофеев А.А.** Моделирование гидромеханики обтекания потоком поверхности с интенсификаторами теплообмена в виде одиночных выемок. ....

**Орлов А.И.** Метод контроля процесса фазового перехода парафиновых отложений в нефтепроводных трубах по диэлектрической проводимости. ....

**Пономарев А.А.** Разработка и исследование двухканальной системы автоматического регулирования газоздушного тракта теплоэнергетического котла. ....

**Рощупкина А.Н.** Интеллектуальная система для нефтедобывающих комплексов. ....

**Самыловский Д.В.** Учет нелинейных свойств ферромагнетиков при синтезе алгоритмов управления индукционными нагревателями. ....

**Семенов С.А., Гилязов Д.Р.** Повышение эффективности охлаждения воды градирни с автоматизированными поворотными панелями воздухопроводного окна. ....

**Сидорова Ю.С.** Применение эксергетических расчетов при оценке эффективности производства. ....

**Тараканов Т.Н.** Расчет и исследование динамики системы автоматического регулирования. ....

**Фадеева Е.О.** Разработка программы управления гидравлической системой замкнутого цикла. ....

**Формакидова Л.Г.** Технология энергосбережения подготовки битума для асфальтобетонных заводов. ....

**Чингин В.Ю.** Использование игровых методов при подготовке инженера по специальности «Автоматизация и управление». ....

## СЕКЦИЯ 2. ПРОМЫШЛЕННАЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

- Афанасьев К.Ю.** Вариант повышения концентрации растворов при выпарке стоков водоподготовительной установки ТЭЦ . . . . .
- Бабушкин Н.А., Слюсарский К.В., Родина Л.Ю.** Концентрирование серной кислоты с помощью аппарата погружного горения . . . . .
- Babushkin N.A.** Technology for producing inert gas. . . . .
- Бобок А.О.** Энегосбережение на предприятиях. . . . .
- Боброва А.В.** Малоиспользуемые запасы топлива. . . . .
- Бурханов М.Р.** Аккумуляция солнечной энергии. . . . .
- Валитов И.И.** Использование вторичного пара в нефтеперерабатывающей промышленности. . . . .
- Габдуллина Д.С.** Энегосбережение в зданиях и сооружениях. . . . .
- Гайнутдинова М.И.** Использование альтернативных источников энергии. . . . .
- Ганиев Р.Р.** Методика проведения термодинамического анализа эффективности комплекса «ТЭЦ – нефтехимическое предприятие». . . . .
- Иванова Е.И., Назипов Р.А.** Тепловой расчет теплообменников с пористыми вставками. . . . .
- Золотонос А.Я.** К теории расчета оребрения во вращающихся конфузоре-диффузионных трубах аппарата типа «труба в трубе». . . . .
- Карев Д.С.** Моделирование систем централизованного теплоснабжения с целью обеспечения эффективности и надежности их работы. . . . .
- Карташова А.А.** Определение критических и предкритических значений параметров для оптимизации работы теплоэнергетического оборудования. . . . .
- Кутлиева И.Р.** Энегосбережение в теплоэнергетических установках . . . . .
- Максимова Р.И.** Эксплуатационная надежность системы газоснабжения. . . . .
- Малышев К.В.** Организация мини-ТЭЦ на базе паровой

- котельной . . . . .
- Марьямова Е.В., Лапатеев Д.А.** Разработка стенда по изучению работы холодильной установки. . . . .
- Миншин Л.А.** Системы пароснабжения промышленных предприятий. . . . .
- Мулланурова Э.М., Шакирова Л.Р., Ахметова Р.В.** Тепловые насосы. . . . .
- Насыбуллин И.З.** Тепловой насос с приводом от газопоршневого двигателя. . . . .
- Офицеров А.В.** Использование тригенерационных установок в системах децентрализованного энергоснабжения. . . . .
- Рожков А.А.** К вопросу о моделировании систем централизованного теплоснабжения. . . . .
- Сайфутдинова А.Р.** Использование вторичных энергетических ресурсов в пищевой промышленности. . . . .
- Салаватуллин И.Ф.** Тепловая изоляция трубопроводов. . . . .
- Тюкульмин П.А.** Экономия в системе отопления на базе теплового насоса. . . . .
- Усманов А.И.** Исследование работы тепловой сети от нескольких источников. . . . .
- Фахреев Н.Н.** Алгоритм проведения исследования в задачах совершенствования энергокомплекса производственных котельных. . . . .
- Хабибуллина А.М., Усманова И.Ш.** Система вентиляции и кондиционирования воздуха на промышленных предприятиях. . . . .
- Хайриева Э.М.** Сравнительные характеристики эксергетического расчета. . . . .
- Хайруллин М.Р.** К вопросу течения аномально-вязкой среды во вращающемся овальном канале «конфузор – диффузор». . . . .
- Хаметова Р.Р.** Эксергетический анализ теплотехнологических схем. . . . .
- Хасанов М.Р.** Энергосбережение при получении обессоленной воды. . . . .
- Хасаншина А.А.** Математическое моделирование в теплоснабжающих системах. . . . .
- Хузяхметова М.Т.** Когенерация. . . . .
- Чащина С.А.** Оценка эффективности модернизации подогревателя высокого давления. . . . .
- Чащина С.А.** Перспективы использования установки

мгновенного вскипания для очистки солесодержащих сточных вод.

**Чебышева Н.С.** Система теплоутилизации с контактным комбинированным теплообменником. . . . .

**Шагиева Э.Р.** Качественная теплоизоляция – эффективный способ энергосбережения. . . . .

**Шамсетдинов Р.Г.** Совмещенный подогрев мазута в резервуаре в системах топливных хозяйств ТЭС. . . . .

### **СЕКЦИЯ 3. ЭКСПЛУАТАЦИЯ И НАДЕЖНОСТЬ ЭНЕРГОУСТАНОВОК И СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ. АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ**

**Агафонов А.В.** Исследование устойчивости пульсационных колебаний в цилиндрической трубе в зависимости от формы теплоподвода. . . . .

**Архипова И.Г., Диденко Е.С.** Микротурбины – альтернативный источник энергии нового века. . . . .

**Барахтин В.С., Хадиев А.Ф.** Возможность использования малых гидроэлектростанций. . . . .

**Белянина Н.В.** Расчет тарифа на отопление. . . . .

**Бормотов С.А.** Особенности двигателя Стирлинга и возможные области применения. . . . .

**Газизов К.Ш.** Этапы проведения исследования энергетической эффективности тепловых пунктов. . . . .

**Гапоненко С.О.** Биоэнергетические установки для сельского хозяйства «БИОЭН-1». . . . .

**Гобунова Т.Г.** Оценка надежности систем тепло- и электроснабжения при их взаимодействии. . . . .

**Загретдинов А.Р.** Способ виброакустического контроля многослойных композиционных материалов. . . . .

**Измайлова Е.В.** Мониторинг состояния тепловых сетей методом акустической эмиссии. . . . .

**Калимуллин М.И.** Использование прикладного программного обеспечения при выполнении проектных работ. . . . .

**Логунов Г.И.** Тенденции развития диагностики линий электропередачи. . . . .

**Машанов Ю.Г.** Использование программы ANSYS для моделирования дефектов трубопроводов. . . . .

- Минеев А.А.** Модернизация фильтров маслоочистки турбогенератора К-200-130 Заинской ГРЭС. ....
- Москалёв И.Л.** Расчёт показателей надёжности турбоагрегата К-100-90-5. ....
- Павлов А.В.** Расчет надёжности системы сигнализации и противоаварийной защиты. ....
- Павлов А.В., Рощупкина А.Н., Ахметов Р.Р.** Применение высоковольтных преобразователей частоты для частотно-регулируемого электропривода. ....
- Попов А.Ю., Щиголев А.А., Монда В.А., Адиятуллин И.Р., Ермолаев А.В., Маханько Д.В., Султанов И.Р., Яновская М.Л.** Разработка способов и средств визуализации тепловых процессов в рубашках охлаждения энергетических установок на жидких углеводородных горючих и охладителях. ....
- Политова Т.О.** Перспективы развития строительства интеллектуальных зданий в России. ....
- Романова М.В.** Контроль клепаных соединений лопаток газотурбинных установок с применением вейвлет-анализа. ....
- Серов В.В.** Алгоритм обнаружения и локализации утечки из трубопровода. ....
- Степанова Д.Л.** Основные проблемы в системе вентиляции. .
- Терехина Н.А.** Диагностика лопаток газотурбинных установок. ....
- Титова Н.А.** Акустическая диагностика теплоэнергетического оборудования. ....
- Тухватуллин Б.Р.** Построение расчетной 3-D модели системы вентиляции корпуса «Д» Казанского государственного энергетического университета. ....
- Фатыхова Л.М.** Исследование траектории движения испаряющейся капли в цилиндрической трубе. ....
- Хабибуллин Р.М., Мазаев Н.М.** Предпосылки проведения системного анализа теплоэлектроцентралей. ....
- Хабибуллин Р.М., Салахова Э.Х.** Разработка проекта энергоцентра для автономного энергообеспечения объекта общественного назначения. ....
- Хайруллин Т.М.** Передовые технологии систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. ....
- Хаматьянов Р.И., Кидяева Е.И., Бикбаев Р.А.** Повышение надёжности автономной ВЭС, выполненной в виде кольцевой

железной дороги. ....

**Щиголев А.А., Попов А.Ю., Гильмуллин И.Р., Султанов И.Р., Адиятуллин И.Р., Ермолаев А.В., Маханько Д.В., Яновская М.Л.** Масляные фильтры энергоустановок многоразового использования. ....

#### **СЕКЦИЯ 4. ДИНАМИКА, ПРОЧНОСТЬ МАШИН, ПРИБОРОВ И АППАРАТУРЫ**

**Белухина С.А.** Сравнительный расчет узла «ось – подшипник». ....

**Захаров А.П.** Расчет коэффициентов интенсивности напряжений с помощью метода конечных элементов. ....

**Камаева К.Е.** Модель ползучести паропровода высокого давления. ....

**Шейкина В.А.** Исследование деформаций просечно-вытяжного листа. ....

#### **СЕКЦИЯ 5. ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ, ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭНЕРГОАУДИТ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ**

**Али Ниджрс АР** Определение положения насоса по критерию минимума энергозатрат в скважинной добыче нефти. ....

**Ахметшина Л.Ф.** Анализ технологического процесса производства сахара с позиции системного подхода. ....

**Бацура С.И.** Энергосбережение при пульсационном заводнении нефтяных месторождений. ....

**Башаров М.М.** Комплексная оценка эффективности модернизации теплообмен-ных аппаратов и установок. ....

**Воронцов А.С.** Системы автоматизации теплообменных рекуперативных устройств в технологиях гидротермической обработки древесины. ....

**Гильфанов Р.Г., Мазитов А.И., Ахсанов М.М., Коваленко В.В., Симаков А.В.,** Модернизация печи осушки воздуха путем применения горелки производства фирмы SAASKE GmbH. ....

- Давыдов А.В.**, Центробежные пленочные теплообменные аппараты. ....
- Зарипова Р.Р.** Газификация твердых бытовых расходов. ....
- Зайкова А.А., Тарасов К.С.**, Снижение лучистого теплообмена в окнах за счет применения теплоотражающих экранов. ....
- Королева А.А.** Пути повышения энергетической эффективности при структурно-функциональной организации установок распылительной сушки молочных продуктов. ....
- Машанова Е.А.** Использование отходов свеклосахарного производства в качестве альтернативного топлива. ....
- Мусина Л.И.** Оптимизация аппаратных энергоэффективных решений для режимов пульсационного дренирования нефтяной скважины. ....
- Никонова О.Е.** Изучение энергосберегающего режима использования пульсационной установки в технологиях кислотной обработки и водоизоляционных работ в призабойной зоне нефтенасыщенного пласта. ....
- Рахимова Э.И.** Изучение энергоэффективных режимов работы пульсационной установки для технологий в призабойной зоне. ....
- Рахматов Р.О.** Использование низкокалорийного газа для печного топлива путем модернизации горелок АГГ-3М. ....
- Родионов Э.В., Вахитов Д.Ф.** Оптимизация автономного энергоснабжения предприятий. ....
- Рупасова Е.О.** Интенсификация и повышение эффективности при производстве неорганических продуктов. ....
- Сагдатов И.И.** О возможностях утилизации теплоты уходящих дымовых газов печей, объектов промысловой подготовки нефти. ....
- Сафиуллин И.Н.** Парогазовые установки на угольном топливе. ....
- Сафиуллина А.Д.** Изучение энергоэффективных режимов работы пульсационной установки для технологии цементирования заколонного пространства скважин. ....
- Степанов С.В., Щепин И.О.** Система индукционного нагрева дисков турбоагрегатов с минимальными затратами. ....
- Усманова Л.Р.** Основные ресурсосбережения при экстрагировании сахарозы из свекловичной стружки. ....

**Шайхутдинова А.Г.** Изучение энергоэффективных режимов работы мобильной пульсационной установки для усовершенствования технологии цементирования заколонного пространства нефтяной скважины. . . . .

**Шараева Г.Р.** Перспективные трансформаторы тепла на основе фазовых переходов. . . . .

**Щелочкова А.М.** Энергосберегающие технологии индукционного нагрева. . . . .

**Щербаков А.В.** Энергоресурсосбережение при вакуумно-диэлектрическом нагреве древесины. . . . .

## **СЕКЦИЯ 6. ТЕХНОЛОГИЯ ВОДЫ И ТОПЛИВА НА ТЭС И ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ**

**Абульхаерова И.Г., Мухаметгалева Э.К.** Выделение сахаров целлюлозосодержащих материалов для получения биоэтанола. . . . .

**Асташов Н.С.** Увеличение производительности пылесистемы с шаровой барабанной мельницей. . . . .

**Башаров М.М., Фарахова А.И.** Эффективность турбулентной сепарации эмульсий в тонкослойных отстойниках. . . . .

**Власов Е.М.** Повышение эффективности испарительных градирен на основе принципов модульной технологии. . . . .

**Галимова Д.И.** Разработка мероприятий по переработке и утилизации смазочно-охлаждающих жидкостей. . . . .

**Голубчиков М.А.** Гранулированный сорбент на основе шлама осветлителей химводоочистки . . . . .

**Гумерова А.Р.** Исследование возможности применения неионогенных поверхностно-активных веществ для экстракционной очистки сточных вод. . . . .

**Долгов А.Н.** Сравнительная характеристика эффективности термических деаэраторов. . . . .

**Зиятдинова А.Х.** Исследование зависимости сорбционных свойств торфа от способа его предварительной обработки. . . . .

**Исхаков А.Р., Фарахов Т.М.** Комплексная очистка уходящих газов ТЭС в насадочном абсорбере. . . . .

**Каляпина С.А.** Способ получения неорганического хроматического пигмента. . . . .

**Карпычев Е.А.** Исследование процесса выделения свободной

угольной кислоты из исходной воды при её коагуляции сульфатом алюминия в установках предварительной очистки . . . . .

**Колегов А.В.** Автоматизированная система контроля и обработки показателей качества теплоносителя барабанных котлов СВД. . . . .

**Колесник Е.В.** Влияние коррозии на теплотехническое оборудование. . . . .

**Крылова А.Н.** Вариант модернизации установки регенерации диэтиленгликоля при процессе осушки природного газа. . . . .

**Минеева А.Г., Загидуллина М.Ф.** Разработка схемы дозирования присадок к топочным мазутам . . . . .

**Михайлова Е.В.** Проблемы водопользования ОАО «НЭФИС».

**Мухаметгалеева Э.К., Абульхаерова И.Г., Захаров Н.С.** Определение основных характеристик промышленного аппарата диафрагменного электролиза. . . . .

**Набиуллина Э.И.** Исследование коалесцирующих свойств бензомаслостойкого пенополиуретана при очистке воды от нефтепродуктов. . . . .

**Недзвецкая Р.Я.** Внедрение биосорбционной технологии очистки сточных вод при утилизации отхода производства ТЭС. . . . .

**Савинов М.П.** Совершенствование автоматического химконтроля водного режима II контура АЭС с ВВЭР. . . . .

**Серазетдинов Н.З.** Течение монодисперсной смеси в ограниченных областях. . . . .

**Сергеева О.А.** Теоретические основы первапорации. . . . .

**Тараскин М.М.** Математическая модель осушки природного газа в адсорбере . . . . .

**Фаткуллин М.Р., Запылкина В.В.** Применение сернистого нефтяного кокса в качестве энергетического топлива. . . . .

**Шатских Р.О.** Автоматизированная обучающая система «Водно-химический режим I контура АЭС с ВВЭР-1000». . . . .

## СЕКЦИЯ 7. ТЕПЛОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

**Власов С.М.** Основные проблемы системы оборотного охлаждения с градирнями на ТЭС. . . . .

**Гайнутдинов Т.Ф., Смирнов А.Ю.** Система автоматизированного контроля качества исходной воды на линии

- подачи к установке обратного осмоса. . . . .
- Гайнутдинова Л.И.** Потенциометрическое определение фазовой нестабильности водных систем на ТЭС. . . . .
- Гильмутдинов А.Ю.** Результаты математического моделирования тепловоздушного режима главного корпуса ТЭС. . . . .
- Елисеев А.А.** Проблематика процесса реагентной предварительной очистки исходной воды на ТЭС. . . . .
- Жамлиханов Т.А.** Анализ технических показателей ПГУ-325 в переменных режимах работы. . . . .
- Жамлиханов Т.А.** Особенности работы ПГУ-410 на частичных нагрузках. . . . .
- Залялов Р.Р.** Диффузионный электродиализ. . . . .
- Коровкин А.А.** Контроль качества воды на установках обратного осмоса и ультрафильтрации на Заинской ГРЭС. . . . .
- Лашин А.О., Малков Е.С., Смирнов И.М., Жамлиханов Т.А.** Использование ПЭВМ для изучения вопросов эксплуатации котлов-утилизаторов ТЭС. . . . .
- Липантьев Р.Е., Никашина А.О.** Процесс обессеривания мазута в цикле топливоподготовки ТЭС. . . . .
- Матвеев Д.Ю.** Приборное обеспечение системы физико-химического контроля водного теплоносителя. . . . .
- Моняков А.В.** Анализ эффективности вариантов термического обессоливания при расширении Пермской ТЭЦ-9. . . . .
- Мракин А.Н.** Разработка математической модели расчета показателей энерготехнологических установок с газификацией угля. . . . .
- Мусин А.А.** Дозвуковые камеры смешения с турбулизацией потока плохообтекаемыми телами. . . . .
- Ожерельев Д.Э.** Реконструкция проточной части цилиндра высокого давления блока 300 МВт. . . . .
- Паймин С.С., Вафин Т.Ф.** Электродиализное концентрирование солевых растворов. . . . .
- Патеева Т.А.** Инновационный подход в обучении на примере кафедры ТЭС КГЭУ. . . . .
- Рогова А.А.** Исследование параметров схем энергоблоков на суперкритические параметры пара . . . . .
- Романов И.С.** Шариковая очистка конденсаторов турбин ТЭС. . . . .
- Рябов Д.М.** Способ компенсации утечек в цикле блока ТЭС. . . . .
- Савостьянова Л.В., Степанов И.А.** Расчет показателей надежности для реально действующей турбоустановки. . . . .

**Санина А.Н.** Мониторинг коррозионных отложений в оборудовании тепловых электрических станций. . . . .

**Хамидуллин Т.И.** Технические решения по оптимизации работы противодавленческого оборудования Нижнекамской ТЭЦ. . .

**Шакиров А.Р.** Контроль коррозии металла котельных агрегатов. . . . .

**Юсупов И.А.** Перспектива применения водоугольной суспензии на Казанской ТЭЦ-2 в качестве основного топлива. . . . .

**Ямгуров Л.Ф.** Разработка и внедрение технологии озонирования на предварительной очистке воды в осветлителях. . . . .

## **СЕКЦИЯ 8. ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ**

**Абдрашитов Р.Р.** Исследование кинетики отверждения растворов непердельного каучука в разработке гидро-, электро-, теплоизолирующих составов. . . . .

**Алтунин К.В.** Вакуумная гидроэлектростанция расширенной области применения. . . . .

**Афанасьев К.Ю.** Подбор источника теплоснабжения для нефтегазового месторождения. . . . .

**Ахмадиев Р.Ш.** Сравнительный анализ существующих гасителей гидроудара на производстве. . . . .

**Богданова Н.В.** Численная модель течения жидкости в трубчато-кольцевом канале в условиях нестационарности. . . . .

**Бушуев А.Н.** Технический комплекс «Дуговые сталеплавильные печи – источник энергии». . . . .

**Елесин М.В., Елесина В.В., Коршаков А.А.** Использование циклонного предтопка в схеме утилизации конверторного газа . . . . .

**Железнов А.Ю.** Анализ влияния теплоносителя на процесс преобразования электрической энергии в тепловую в электродном котле. . . . .

**Закирова И.А.** Исследование теплосберегающих свойств композиционного материала на основе этилен-пропилен-диенового каучука холодной вулканизации. . . . .

**Ильин О.В., Савинов В.И.** Контроль жесткости сетевой воды бесконтактным кондуктометрическим методом. . . . .

**Капралова К.В., Кузнецова М.А.** Механизм выделения

свободного и растворенного газа из многофазной среды в струйном аппарате. . . . .

**Киреенко П.Я.** Создание расчетной модели тепловых сетей микрорайона города на примере микрорайона № 8 ЮЗ г. Владимира. . . . .

**Копылов В.М., Лапатеев Д.А.** Снижение теплотерь через оболочку канала тепловых сетей при использовании энергосберегающих теплоотражающих экранов. . . . .

**Кутумова Е.О.** Методические рекомендации по составлению расходной части топливно-энергетического баланса предприятия с учетом потенциала энергосбережения. . . . .

**Малахова Ю.Г.** Энергосбережение в технологии переработки шин. . . . .

**Малов М.Р., Закиров Н.Т., Шейдуллин Д.Э.** Исследование теплообмена при пульсирующем потоке теплоносителя. . . . .

**Нигматзянов Х.Р.** Мероприятия по интенсификации теплообмена кожухотрубных теплообменников. . . . .

**Нуриев Р.Р.** Методика подбора материала и оптимальной толщины теплоизоляции трубопроводов. . . . .

**Орлов Д.В.** Мембранный метод разделения гомогенных смесей – «первапорация». . . . .

**Павлов П.А.** Оптимизация системы теплоснабжения многоэтажного учебного здания на примере корпуса «Д» Казанского государственного энергетического университета. . . . .

**Сарачева Д.А.** О возможностях расширения областей использования частотно - регулируемого привода в системе городского хозяйства. . . . .

**Трофимова Т.В., Федотова В.С.** Современный способ строительства тепловых сетей. . . . .

**Хафизов Б.А.** Исследование теплоизоляционных свойств материалов на основе СКЭПТ. . . . .

**Хусаинова Л.Э.** Исследование эффективности теплового насоса в системе теплоснабжения. . . . .

**Шакирова Г.М.** Исследование процессов теплообмена в теплопередающих установках блочного теплового пункта. . . . .

**Шмидт Ю.А.** Энергосбережение в технологии переработки древесных отходов. . . . .

**Яруллина Р.Р.** Применение пеллетных котлов для систем теплоснабжения в районах, удаленных от газовых магистралей . . . . .

## СЕКЦИЯ 9. ТЕПЛОФИЗИКА

**Абдулхаев Р.Ф.** К вопросу о применимости теплового насоса в системах отопления. . . . .

**Вафин Н.Ф.** О конформационном равновесии некоторых тиофосфатов при фазовых изменениях. . . . .

**Григорьева О.В.** Инерционное осаждение взвешенных частиц при обтекании пористого цилиндра. . . . .

**Данилов В.А., Назипов Р.А.** Тепловая модель охлаждаемого пористого цилиндра с переменной по длине температурой поверхности. . . . .

**Загидуллин Г.Г.** Влияние давления теплоносителя на теплогидравлическое качество активной зоны реактора AVR. . . . .

**Заграй И.А.,** асп., ВятГУ. Науч. рук. д.т.н., проф. Кузьмин В.А. Исследование температурного интервала и спектрального диапазона для расчета теплового излучения. . . . .

**Ильясов Н.Х.** Устройство для интенсивной очистки технической воды с использованием акустических волн. . . . .

**Кутергина Н.А.** Радиационные характеристики и характеристики излучения моно- и полидисперсионных систем частиц энергетических установок. . . . .

**Мазанкина Д.В.** Рабочие реагенты воздействия на битумный пласт и призабойную зону пласта. . . . .

**Попкова О.С., Шинкевич Т.О.** Механизм горения в турбулентном потоке. . . . .

**Садыкова М.С.** Вихревой эффект и его практическое применение. . . . .

**Сыродой С.В.** Зажигание водоугольной частицы лучисто-конвективным теплом . . . . .

**Темиргалиев М.О.** Приближенный расчет испарения капли в газовом потоке. . . . .

**Тужилина Н.Ю., Полунин Е.П., Кацуба Д.С.** Информационно-измерительная система теплофизического эксперимента. . . . .

**Федоров Ю.В.** Распространение акустических волн в двухфракционных газозвесах с полидисперсными частицами разных материалов и размеров. . . . .

**Шинкевич Т.О., Попкова О.С.** Определение поперечных  
размеров камеры сгорания. . . . .