

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН  
АКАДЕМИЯ НАУК РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН  
РОССИЙСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ КОМИТЕТ СИГРЭ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Казанский государственный энергетический университет»

МАТЕРИАЛЫ ДОКЛАДОВ  
XI МЕЖДУНАРОДНОЙ МОЛОДЕЖНОЙ  
НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ  
«ТИНЧУРИНСКИЕ ЧТЕНИЯ»

23–25 марта 2016 г.

Казань

В трех томах

*Под общей редакцией  
ректора КГЭУ  
Э.Ю. Абдуллазянова*

Том 2

Казань 2016

УДК 371.334  
ББК 31.2+31.3+81.2  
М34

*Рецензенты:*

доктор технических наук, профессор Казанского национального  
исследовательского технологического университета *А.Н. Николаев*;  
кандидат технических наук, проректор по научной работе Казанского  
государственного энергетического университета *Э.В. Шамсутдинов*

М34 **Материалы докладов XI Международной молодежной научной  
конференции «Гинчуринские чтения» / Под общ. ред. ректора КГЭУ  
Э.Ю. Абдуллазянова. В 3 т.; Т. 2. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т,  
2016. – 227 с.**

**ISBN 978-5-89873-450-3 (т. 2)**

**ISBN 978-5-89873-452-7**

В сборнике представлены тезисы докладов, в которых изложены результаты научно-исследовательской работы молодых ученых, аспирантов и студентов по проблемам в области тепло- и электроэнергетики, ресурсосберегающих технологий в энергетике, энергомашиностроения, инженерной экологии, электромеханики и электропривода, фундаментальной физики, современной электроники и компьютерных информационных технологий, экономики, социологии, истории и философии.

УДК 371.334

ББК 31.2+31.3+81.2

*Редакционная коллегия:*

канд. техн. наук Э.Ю. АБДУЛЛАЗЯНОВ (гл. редактор); канд. техн. наук  
Э.В. ШАМСУТДИНОВ (зам. гл. редактора); д-р пед. наук, проф.  
А.В. ЛЕОНТЬЕВ; д-р техн. наук, проф. В.К. ИЛЬИН; д-р хим. наук, проф.  
Н.Д. ЧИЧИРОВА; д-р техн. наук, проф. И.В. ИВШИН; канд. физ.-мат.  
наук, доц. Ю.Н. СМИРНОВ; канд. полит. наук, доц. А.Г. АРЗАМАСОВА

*Материалы докладов публикуются в авторской редакции.*

*Ответственность за содержание тезисов возлагается на авторов*

**ISBN 978-5-89873-450-3 (т. 2)**

**ISBN 978-5-89873-452-7**

© Казанский государственный  
энергетический ун-т, 2016

**НАПРАВЛЕНИЕ: ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА****СЕКЦИЯ 1. ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ  
ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ**

УДК 621.438

**ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ НАСЫЩЕННОЙ  
ПАРОВОДЯНОЙ СМЕСИ ПРИ СБРОСЕ ДАВЛЕНИЯ**

АЛЬ ЗУБАЙДИ А.Т., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. А.Б. ШИГАПОВ

Рассматриваются термодинамические процессы при сбросе давления насыщенной пароводяной смеси. Аналогичные процессы имеют место во многих устройствах тепловой схемы паротурбинных установок. Примерами являются: расширители пара; подогреватели в составе утилизации теплоты и рабочего тела; термические обессоливающие установки, работающие по принципу мгновенного испарения и др.

Наша задача заключается в попытке использования принципа мгновенного испарения в составе охлаждения воздуха в многоступенчатом компрессоре стационарной газотурбинной установки (СГТУ). Задачей данного этапа исследований является ознакомление с термодинамическими процессами, происходящими при резком снижении давления насыщенной пароводяной смеси. Исходная смесь состоит из пара и воды при заданном давлении. При сбросе давления часть перегретой воды переходит в пар, часть воды, разумеется, остается в жидкой фазе.

Были проведены расчеты процессов мгновенного испарения при вариации количества жидкой и паровой фаз исходного продукта, количества испарившейся жидкости и другие термодинамические свойства среды. Исходным в расчетах является уравнение энергии (энтальпии), которое замыкается в уравнениях баланса вещества.

Результаты расчетов приведены в табличном виде и представлены в виде графических зависимостей.

УДК 532.529

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ РАСПОЛОЖЕНИЯ УСТРОЙСТВА ПОДАЧИ НАГРЕТОГО КАТАЛИЗАТОРА В АППАРАТЕ ПСЕВДООЖИЖЕННОГО СЛОЯ**

АХМАДУЛЛИН А.М., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. ст. преп. СОЛОВЬЕВА О.В.;

канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр. СОЛОВЬЕВ С.А.

В химической промышленности активно используются аппараты псевдоожигенного слоя. Преимуществом являются высокие скорости тепло- и массообмена между участниками реакции, находящимися в разных агрегатных состояниях. Исследования крупномасштабных аппаратов затруднены большими размерами, множеством структурных элементов. Часто такие аппараты работают при высоких температурах (500–900 °С), что еще сильнее затрудняет исследования. Одним из способов получения данных об интересующем процессе является численное моделирование. В численном моделировании псевдоожигения получил распространение Эйлеров-Эйлеров подход, когда и несущая (газ, жидкость), и дискретная (твердая) фазы считаются непрерывными. Для учета особенностей движения в псевдоожигенном слое, по аналогии с кинетической теорией газов, добавлено уравнение, описывающее изменение кинетической энергии гранул вследствие их столкновений.

В настоящей работе рассмотрена модель блока цилиндрической формы. В нижней части аппарата расположено устройство подачи газа-сырья. В реакторе находится микросферический катализатор с диаметром частиц 20-200 мкм. Дифференциальные уравнения, описывающие гидродинамические и тепловые процессы, в расчетной области модели реактора решались в CFD пакете ANSYS Fluent для осесимметричной нестационарной схемы течения. Проведены численные расчеты, проанализированы циркуляционные потоки в аппарате, температурные поля, распределение катализатора. Проведены параметрические расчеты при различных расположениях устройства подачи нагретых частиц в аппарат.

УДК 621.7.06

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В РАБОЧЕМ ЗАЗОРЕ МАГНИТОЖИДКОСТНОГО УПЛОТНЕНИЯ ВРАЩАЮЩЕГОСЯ ВАЛА ЭЛЕКТРОПРИВОДА**

ВЛАСОВ А.М., ИГЭУ, г. Иваново

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. ПОЛЕТАЕВ В.А.

Момент трения является одним из важнейших параметров электромеханических устройств. В магнитожидкостных герметизаторах стремятся к снижению момента трения, определяющего внутренние тепловыделения и разогрев устройства. В процессе работы магнитожидкостного герметизатора в слое магнитной жидкости возникают силы внутреннего трения, которые приводят к потерям энергии на их преодоление. Величина сил трения зависит от площади контакта магнитной жидкости с деталями магнитожидкостного герметизатора, градиента скорости, а также от вязкости магнитной жидкости. Выделяемая при трении энергия идёт на нагрев узлов магнитожидкостного герметизатора. Нагрев магнитной жидкости существенно влияет на работоспособность магнитожидкостных устройств.

Поэтому представляет большой интерес исследование влияния температуры на изменение момента трения в рабочем зазоре магнитожидкостного герметизатора.

Спроектирована и изготовлена установка для исследования влияния изменений температуры в рабочем зазоре на величину моментов трения магнитожидкостных уплотнений в зависимости от величины шероховатости и волнистости внутренних поверхностей магнитных полюсов и наружных поверхностей валов из различных материалов, контактирующих с магнитной жидкостью разных типов, частоты вращения вала, величины магнитного поля, вязкости магнитной жидкости и ее изменения во время нагрева при эксплуатации.

По результатам исследования сделаны выводы, что применение втулок с малой величиной шероховатости поверхности в рабочем зазоре позволит повысить эффективность и технико-экономические показатели большинства выпускаемых магнитожидкостных устройств. Реализация результатов исследования позволяет обеспечить надежность электромеханического устройства за счет уменьшения моментов трения магнитожидкостных герметизаторов путем повышения качества

изготовления рабочего зазора, образованного поверхностями трения магнитных полюсов и валов из различных материалов и заполненного магнитной жидкостью заданной марки в зависимости от технических условий.

УДК 532

## **ДВА ПОДХОДА К РАСЧЕТУ ПОЛЯ ТЕЧЕНИЯ ПРИ ОБТЕКАНИИ ПОРИСТОГО ТЕЛА**

ГАЛИЕВ А.А., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. ст. преп. СОЛОВЬЕВА О.В.

Пористые тела активно используются как элементы аэрозольных фильтров. При обтекании пористых тел запыленными потоками взвешенные частицы могут оседать внутри пористой структуры за счет инерционных и гравитационных сил, диффузионного или электростатического осаждения. Представляется важным исследование возможностей пористых тел улавливать взвешенные частицы.

В работе рассмотрен вопрос об обтекании пористого цилиндра вязким течением несжимаемого газа. Целью работы является сравнение двух подходов к задаче о течении через пористое тело.

В рамках первого подхода задача о течении газа решается отдельно вне и внутри пористого тела. Для описания течения в однородной области используется модель течения Стокса или уравнения Навье – Стокса. Течение внутри пористого тела описывается уравнением Дарси, уравнениями Дарси – Бринкмана или расширенными уравнениями Дарси – Бринкмана. Согласование решений в двух областях осуществляется через условия равенства нормальной и тангенциальной составляющих скорости газа и давления и касательных напряжений на границе раздела двух сред в зависимости от выбранной модели. Вторым подходом заключается в описании течения в однородной и пористой областях едиными уравнениями Навье – Стокса, учитывающими дополнительное сопротивление за счет течения газа в пористой области. Этот подход реализован в пакете Fluent и использован в настоящей работе.

Проведены расчетные исследования при различных значениях пористости и скорости обтекания. Обе модели дают близкие распределения линий тока течения, что указывает на допустимость использования приближенной модели Бринкмана при описании течений в пористых телах.

УДК 621.1

## ВЫБОР МЕТОДА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

ЗИНУРОВ В.Э., ХАФИЗОВА А.И., КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. канд. техн. наук, доц. КРУГЛОВ В.И.

Исследования показывают, что законы распределения значительного количества параметров различных узлов и механизмов близки к нормальному. В этом случае задача прогнозирования изменения частных параметров может быть сформулирована следующим образом. Имеется конечная последовательность данных по 1-му параметру  $\{x_1\}$  контролируемого объекта, реализованных в  $t_\xi (t_\xi = f, \theta)$  моменты времени. Необходимо определить закон распределения параметра  $x_1^*$  в точке прогноза, т.е. в момент времени  $t_\theta + \Delta t$  (где  $\Delta t$  – интервал упреждения).

Процесс изменения прогнозируемого параметра  $x_1$  во времени в общем случае может быть представлен в виде:

$$X_1(t) = x_{дл}(t) + x_{сл}(t), \quad (1)$$

где  $x_{дл}(t)$  – регулярная составляющая динамического ряда;  $x_{сл}(t)$  – нормально распределенная случайная составляющая с нулевым математическим ожиданием.

В этом случае задача прогнозирования будет заключаться в оценке математического ожидания параметра  $x_{дл}(t_\theta + \Delta t)$  в точке прогноза по детерминированной основе и дисперсии параметра  $D_1(t_\theta + \Delta t)$  на основе статистической обработки случайной составляющей  $x_{сл}(t_\theta + \Delta t)$ .

К настоящему времени разработано и предложено достаточно большое количество математических методов прогнозирования. Однако они не лишены ряда недостатков. Выбор конкретного метода прогнозирования определяется особенностями решаемой задачи, характером и количеством априорной информации о прогнозируемом процессе.

Применение большинства известных методик прогнозирования в значительной степени ограничено необходимостью большого объема априорных данных по частным параметрам  $x_1$  для получения достаточной

точности прогноза. Наиболее приемлемым может оказаться метод, основанный на теории самоорганизации, в частности, метод группового учета аргументов (МГУА). В основу метода положена идея постепенного усложнения математической модели по принципу многорядной селекции.

УДК 532

**ВЛИЯНИЕ МАЛЫХ СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ  
НА ЦИРКУЛЯЦИОННЫЕ ПОТОКИ В РЕАКТОРЕ  
ПСЕВДООЖИЖЕННОГО СЛОЯ: ЧИСЛЕННОЕ  
МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ  
И ТЕПЛОМАССОБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ**

ИСЛАМОВА Г.Н., АХМАДУЛЛИН А.М., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. ст. преп. СОЛОВЬЕВА О.В.

Реакторы псевдоожигенного слоя широко используются в нефтехимической промышленности. В частности, настоящая работа посвящена исследованию процесса дегидрирования изобутана в присутствии гранулированного катализатора. Подача горячих частиц катализатора необходима для поддержания высокой температуры реакции. Основной задачей является эффективное нагревание области псевдоожигенного слоя с высокой концентрацией катализатора.

В настоящей работе было исследовано движение твердых частиц катализатора размером 20–160 мкм для модели реактора дегидрирования изобутана.

Представленные результаты расчетов выполнены для полидисперсного катализатора (две основные фазы крупных и мелких частиц). В расчете наблюдается устойчивый быстрый нисходящий поток зерен катализатора вдоль стенок реактора и медленно движущихся вверх в центральной зоне.

В настоящем исследовании рассматриваются параметрические расчеты для различных расстояний между решетками и стенкой реактора. Для увеличения теплоотдачи в зонах повышенной концентрации катализатора были произведены расчеты состояния реактора с различными вариантами конструкций. Были получены поля концентрации катализатора, температура, а также поле функции эффективности химической реакции. Применение численного моделирования позволяет прогнозировать поведение в слоях с использованными допущениями. Результаты могут представлять интерес для промышленности.

УДК 543.42

## **ОПТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ ИНГРЕДИЕНТНОГО СОСТАВА ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ТОПЛИВ**

КУВШИНОВ Н.Е., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р физ.-мат. наук, проф. МОСКАЛЕНКО Н.И.

Рассматриваются методы определения ингредиентного состава продуктов сгорания энергетических топлив, обеспечивающих возможность их дистанционной индикации, или методы отбора проб. Анализируются спектры поглощения и излучения газовых ингредиентов продуктов сгорания и дисперсной фазы. Обсуждаются методы расчетов функций спектрального пропускания путем численного моделирования их тонкой структуры с учетом влияния аппаратных искажений регистрируемых спектров. Для дистанционной диагностики продуктов сгорания необходимы сведения о температурных зависимостях функций спектрального пропускания и эффективного сечения поглощения, рассеяния для полидисперсных образований сажевого золя. Микроструктура сажевого золя восстанавливается по спектральным зависимостям спектров ослабления измерением золя и продуктов сгорания, которое находится путем определения спектров от структурно неоднородных сред продуктов сгорания. Показана возможность определения ингредиентного состава продуктов сгорания и поля температуры излучающих сред, требующих узкопольной регистрации излучения. При определении ингредиентного состава методом отбора проб продуктов сгорания. Проба предварительно нагревается в пробозаборнике и вводится в предварительно нагретую многоходовую рабочую камеру. Записанный спектрометром спектр поглощения излучения разлагается на индивидуальные компоненты методом моментов и восстанавливается на влияние аппаратной функции. По центру спектральной линии определяется ингредиент, а по интенсивности поглощения излучения при определенном значении оптического пути в кювете находится концентрация ингредиента. Температуру газовой среды можно определить по абсолютным спектрам интенсивности излучения.

УДК 532.075.8

## **МЕХАНИЗМ ТУРБУЛЕНТНОГО ГОРЕНИЯ ОДНОРОДНОЙ СМЕСИ**

МЕДВЕДЕВА А.С., ПОПКОВА О.С., КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. канд. техн. наук, доц. ШАРИПОВ И.И.

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 в условиях, когда гидродинамические свойства потока оказывают сильное влияние на процесс горения. Интенсификация процесса находится в прямой зависимости от гидродинамических характеристик потока.

При исследовании вопросов горения принимаются те или иные допущения, схематизирующие процесс. Основным из них является допущение о полной однородности смеси как по фазовому состоянию, так и по распределению концентраций, что позволяет 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.

Целью данной работы является рассмотрение механизма горения в турбулентном потоке. Данная 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 моль, несущий пламя, успеет совершить несколько движений раньше, чем оно будет подхвачено следующей пульсацией. Таким образом, скорость распространения пламени в этом случае будет определяться перемещением участков его фронта за характеристическое время горения  $t_{\Pi}$ .

УДК 532.075.8

**ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ГРАНИЦЫ  
УСТОЙЧИВОСТИ ТЕРМИЧЕСКИ ВОЗБУЖДАЕМЫХ  
ПУЛЬСАЦИОННЫХ КОЛЕБАНИЙ ГАЗА  
В ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ТРУБЕ**

МЕДВЕДЕВА П.В., УСАНОВА Л.М., КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. канд. техн. наук, доц. ПОПКОВА О.С.

Для описания процессов горения используется непрерывная во всей области система дифференциальных уравнений. В небольшой зоне теплоподвода задаются внутренние источники теплоты, которые и моделируют связь между возмущенными параметрами среды. В этом случае уравнение тепловой энергии содержит дополнительное слагаемое  $Q(x, t)$ , которое не позволяет изолированно решать уравнения сохранения массы и импульса от уравнения энергии. Система уравнений взаимосвязана.

В этом случае можно использовать модель одномерного течения. Концы трубки остаются открытыми, давления на входе и выходе полагаются постоянными. В некотором сечении трубы имеется теплоподвод.

Уравнения сохранения массы, импульса, тепловой энергии и уравнение состояния для идеального нетеплопроводного газа имеют вид

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \rho \frac{\partial u}{\partial x} + u \frac{\partial \rho}{\partial x} = 0,$$

$$\rho \left( \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial p}{\partial x} = 0,$$

$$\frac{\rho R}{\gamma - 1} \left( \frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} \right) + p \frac{\partial u}{\partial x} = Q,$$

$$p = \rho R T.$$

В полученной системе для задач горения величина  $Q(x, t)$  зависит от выбранной модели подвода теплоты, т.е. от искомых параметров задачи.

Наиболее сложно смоделировать механизмы связей при возбуждении акустических колебаний горением. Здесь рассматривается

механизм поддержания колебаний столба газа за счет линейной связи между возмущениями теплоты и возникающими в трубе продольными скоростями.

УДК 537.26

## ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОСОПРОТИВЛЕНИЯ ПРИ ПОПЕРЕЧНОМ ОБТЕКАНИИ ПУЧКОВ ПРОФИЛИРОВАННЫХ ТРУБ

МИРОНОВ А.А., СКРЫПНИК А.Н., КНИТУ-КАИ, г. Казань

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

канд. техн. наук, доц. ЩЕЛЧКОВ А.В.

В работе представлены результаты исследования гидравлического сопротивления при внешнем обтекании пучков труб с поверхностными интенсификаторами типа «сферические выемки».

Выявлено влияние расположения труб в пучке, а также плотности расположения выемок на поверхности исследуемых труб (рис. 1, 2).

Установлено снижение гидравлического сопротивления пучка труб при использовании «сферических выемок» на поверхности труб.

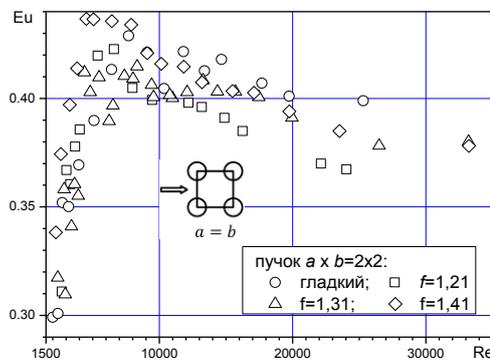


Рис. 1. Гидравлическое сопротивление трубных пучков с большим межрядным пространством

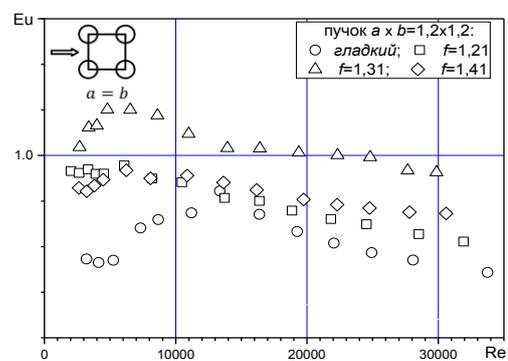


Рис. 2. Гидравлическое сопротивление трубных пучков с малым межрядным пространством

В результате проведения экспериментов показано влияние безразмерных геометрических и режимных параметров на гидравлическое сопротивление пучков труб при различной компоновке на поверхности сферических выемок (увеличении площади поверхности  $f$ ). Установлено снижение гидравлического сопротивления пучка профилированных труб.

Таким образом, за счет снижения гидравлического сопротивления уменьшается мощность на прокачку теплоносителя.

УДК 537.26

## **ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОТДАЧИ И ГИДРОСОПРОТИВЛЕНИЯ ПРИ ВНЕШНЕМ ОБТЕКАНИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ИНТЕНСИФИКАТОРОВ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ**

МИРОНОВ А.А., ХАКИМЗЯНОВ Р.Р., КНИТУ-КАИ, г. Казань  
Науч. рук. д-р техн. наук, проф. ПОПОВ И.А.;  
канд. техн. наук, доц. ЩЕЛЧКОВ А.В.

В работе представлены результаты исследования гидравлического сопротивления при внешнем обтекании поверхностных интенсификаторов: цилиндрической выемки, направленной под углом 45 % к потоку, и улучшенной цилиндрической выемки, вытянутой по потоку (рис. 1, 2).

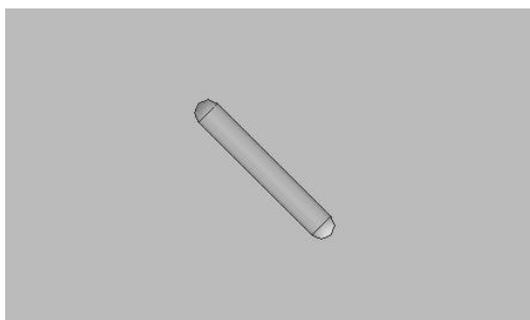


Рис. 1. Цилиндрическая выемка, направленная под углом 45 % к потоку

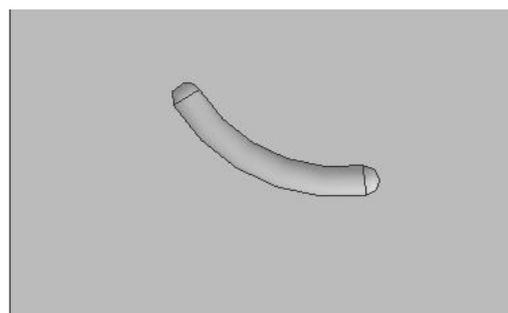


Рис. 2. Цилиндрическая выемка, вытянутая по потоку

Для визуализации процесса теплоотдачи была произведена тепловизионная съемка. Выявлено влияние геометрических параметров поверхностных интенсификаторов цилиндрической формы на теплоотдачу.

Установлено снижение гидравлического сопротивления при использовании цилиндрической выемки, вытянутой по потоку, относительно цилиндрической выемки, направленной под углом 45 % к потоку, на поверхности пластины.

Таким образом, за счет снижения гидравлического сопротивления уменьшается мощность на прокачку теплоносителя.

УДК 532

## **ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОГО ПОВЕРХНОСТНОГО ТРЕНИЯ В ТУРБУЛЕНТНОМ ПОТОКЕ**

МУСИН Л.Г., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. ШАРИПОВ И.И.

Исследование проводится на базе интегральных уравнений импульсов, энергии и неразрывности в приближении пограничного слоя. Замыкающие законы трения и теплоотдачи определены с использованием полуэмпирической теории турбулентности и аппроксимации касательных напряжений и тепловых потоков поперек пограничного слоя с привлечением принципа независимости вклада отдельных возмущающих воздействий на процессы турбулентного обмена.

По результатам расчетов получили, что отклонения коэффициентов теплоотдачи от квазистационарных зависимостей наблюдаются при наличии отрицательных производных температур основного потока по времени, сброс тепловой нагрузки при постоянстве температуры обтекаемой поверхности приводит к значительному снижению теплоотдачи относительно квазистационарной, с ростом параметра тепловой нестационарности толщина потери энергии увеличивается относительно стационарного изотермического аналога.

Проведенный численный эксперимент по средней теплоотдаче и трению при пульсации расхода рабочего тела в цилиндрическом канале показал, что при увеличении частоты колебаний расхода наблюдается уменьшение среднего относительного коэффициента трения от частоты пульсаций расхода. До 1,1–1,2 Гц отмечен рост, затем падение среднего коэффициента трения при абсолютных значениях больше единицы. При ~ 3 Гц средний относительный коэффициент трения уменьшается и в дальнейшем становится менее единицы.

УДК 621.438

## **УЧЕТ НЕДОГОРАНИЯ В СТАЦИОНАРНЫХ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВКАХ**

НИЗАМОВ С.И., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р техн. наук проф. ШИГАПОВ А.Б.

В реальных условиях часть топлива в камере сгорания не вступает в химические реакции окисления. Причинами недогорания являются: нарушение системы подачи топлива; невозможность организации полного прохождения химических реакций в топливовоздушной смеси; локальная неравномерность параметров потока и др.

Учет влияния недогорания топлива может быть выполнен при некоторых допущениях, основными из которых являются следующие:

– топливо (природный газ) состоит из веществ (углеводородных соединений), которые не вступают в реакции между собой и не образуют растворов;

– компоненты (вещества) и смесь газов являются идеальными газами, для них применяются термодинамические соотношения классической термодинамики;

– компоненты несгоревшего топлива не подвергаются пиролизу – термическому разложению, не взаимодействуют с продуктами сгорания.

Последнее допущение, разумеется, не является строго научным, требует специальных исследований. Например, метан уже при температурах 640–650 К разлагается, механизм распада является сложным и зависит от темпа нагрева – скорости изменения параметров среды.

В предположении выполнения принятого постулата были рассчитаны термодинамические свойства продуктов сгорания, содержащиеся и не вступившие в реакцию окисления с частью топлива. При этом принималось допущение, что компонентный состав несгоревшего топлива является постоянным и равен исходному.

В расчетах природный газ принят осредненного состава, содержание изомерных структурных модификаций не учитывалось. Определены также влияния недогорания на термодинамические свойства газов: температуру; работоспособность и др.

УДК 621.438

## ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

СВИЛИН В.Ю., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. ШИГАПОВ А.Б.

Термодинамические свойства продуктов сгорания при низких температурах (400–1000 К) ранее были получены аппроксимацией значений, рассчитанных при некоторой вариации данных в области повышенных температур (1800–2200 К).

При снижении температуры продуктов сгорания за счет отвода теплоты в поверхностях нагрева (в котле-утилизаторе, газовом подогревателе конденсата) либо при совершении работы (в газовой турбине СГТУ) происходит значительное изменение температуры, рабочая среда переходит в новое термодинамическое равновесное состояние. При этом в системе могут произойти и химические реакции, вызванные установлением нового термодинамического равновесия. Химические реакции, разумеется, идут в направлении рекомбинации – образования двух- и трехатомных газов  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  и др.

Целью и задачей расчетных исследований является оценка изменения термодинамических свойств: теплоемкостей ( $C_p$ ,  $C_v$ ), удельной работоспособности ( $R$ ), показателя изэнтропических процессов расширения ( $k$ ), а также концентрации определяющих и токсичных компонентов в составе газов при значительном снижении температуры.

Последовательность расчетов включает:

- определение условной (эквивалентной) формулы топливо-воздушной смеси при вариации коэффициентов избытка воздуха;
- выполнение термодинамических расчетов горения при вариации энтальпии в области отрицательных значений;
- обработка и обобщение результатов.

Результаты исследований представлены в графическом виде. Приводится также погрешность полученных ранее аппроксимированных зависимостей.

УДК 536.27

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ТРУБ С ВИНТОВОЙ НАКАТКОЙ, ПОЛУЧЕННОЙ МЕТОДОМ ДЕФОРМИРУЮЩЕГО РЕЗАНИЯ**

СКРЫПНИК А.Н., ХАКИМЗЯНОВ Р.Р., КНИТУ-КАИ, г. Казань  
Науч. рук. д-р техн. наук, проф. ПОПОВ И.А.;  
канд. техн. наук, доц. ЩЕЛЧКОВ А.В.

Из литературных данных следует, что устройства, производящие завихрение в движущейся жидкости, являются наиболее привлекательными средствами интенсификации теплообмена в системах с вынужденной конвекцией. В связи с этим большой интерес вызывают вопросы гидродинамики в каналах с закруткой потока.

Поэтому настоящее исследование преследовало следующие цели:

- 1) получить данные по коэффициенту гидравлического сопротивления в трубах с винтовой накаткой, полученной методом пластического деформирования;
- 2) сравнить полученные данные с гидравлическим сопротивлением в гладкой трубе при одинаковых режимах течения и определить эффективность данного метода интенсификации.

Эксперименты проводились на медных трубах с винтовой накаткой, полученной методом деформирующего резания, методом механической обработки, основанном на подрезании поверхностного слоя материала заготовки и последующей деформации подрезанного слоя с формированием макро- и микрорельефа. Трубы имели различные углы и шаг накатки.

В результате проведенных экспериментов выявлены графические зависимости коэффициента гидравлического сопротивления каналов с винтовой накаткой, полученной методом деформирующего резания, от числа  $Re$ .

В данный момент ведутся эксперименты по измерению коэффициента теплоотдачи труб с винтовой накаткой, полученной методом деформирующего резания, а также построение модели для численного исследования труб с данным типом интенсификаторов.

Работа выполнена в рамках гранта Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) 16-38-00066 мол\_а.

УДК 621.45

## ПАРАМЕТРЫ ФАКЕЛА РАСПЫЛА ЦЕНТРОБЕЖНОЙ ФОРСУНКИ В ПОТОКЕ ГАЗА

УСАНОВА Л.М., МЕДВЕДЕВА П.В., КГЭУ, г. Казань

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

При расчете формы факела распыла центробежной форсунки принимаем, что скорость движения капель совпадает со скоростью потока воздуха.

Из уравнения движения, спроектировав данные на оси координат и приняв, что коэффициент сопротивления выражается формулой Вырубова, можно найти значения скорости и координат капли для любого промежутка времени после начала движения

$$u = \frac{u_0}{\left( \frac{\sqrt{u_0}}{l_1 d_k^{3/2}} - 1 \right)^2},$$

а также расстояния, проходимые каплями в осевом и радиальном направлениях

$$y = \frac{v_0 \sin \frac{\alpha_\phi}{2}}{\frac{\sqrt{u_0}}{l_1 d_k^{3/2}} + \frac{1}{t}}, \quad (1)$$

$$x = \frac{v_0 \cos \frac{\alpha_\phi}{2} \pm w_2}{\frac{\sqrt{u_0}}{l_1 d_k^{3/2}} + \frac{1}{t}} + w_2 t.$$

В движущемся потоке газа предельный радиус траектории капли можно найти, подставив  $t = \infty$  в уравнение (1)

$$y_{\text{пр}} = \frac{l_1 v_0 d_k^{3/2} \sin \frac{\alpha \phi}{2}}{\sqrt{u_0}}.$$

Полученная формула позволяет связать предельный факел радиуса распыла с диаметром центробежной форсунки.

УДК 532

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ФИЛЬТРА ПРИ НАЛИЧИИ В НЕМ РАБОЧИХ ПОВРЕЖДЕНИЙ**

ФАЗДАЛОВА А.Р., ГАЛИЕВ А.А., КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. ст. преп. СОЛОВЬЕВА О.В.

Аэрозольные фильтры используются в различных областях производства, начиная с фильтров индивидуальной защиты, заканчивая очисткой заводских выбросов от опасных веществ и бытовой вентиляции. Вследствие хрупкой структуры, фильтры не подлежат очистке, т.е. снижение его эффективности ведет к скорой замене.

Основной проблемой фильтрации аэрозолей является то, что фильтры, состоящие из пористых слоев, могут быть повреждены с образованием пор различных размеров. При работе респираторов между лицом и маской могут быть сформированы зазоры. В результате, характеристики фильтров и защитных масок будут меняться в связи с дополнительным движением аэрозоля через отверстия и зазоры вместо движения через пористую среду.

В настоящее время мало изучен проскок аэрозольных частиц в отверстие внутри среды с пористыми стенками в качестве границы между пористой зоной и пространством свободной жидкости. Актуальной представляется задача детального исследования характеристик фильтра при наличии в нем рабочих повреждений на основе изучения поля течения газа в пористой области и области повреждений. Построения полей концентрации частиц и оценка величины коэффициента проскока аэрозольных частиц через отверстие в зависимости от условий среды, относительного размера отверстия, размера частиц, проницаемости фильтра и прочих параметров могут стать основой для разработки фильтров нового поколения с пониженным коэффициентом аэродинамического сопротивления, не чувствительных к малым повреждениям в результате их работы.

УДК 532.075.8

## РАСЧЕТ ПОЛЕЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ВНУТРИ НЕИСПАРЯЮЩЕГОСЯ ФАКЕЛА

ХАЙРУТДИНОВ М.А., КГЭУ, г. Казань

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

В камере сгорания процесс может осуществляться, если местная концентрация топливо-воздушной смеси не выходит за пределы, при которых возможно устойчивое горение. Для организации правильного горения и подбора необходимой форсунки необходимо определять концентрации внутри факела распыла.

Механизм образования полей концентраций зависит от фазового состава топливо-воздушной смеси и устройства форсунки. Для определения полей концентрации внутри неиспаряющегося факела сначала находят спектр распыла по устройству форсунки, а для полностью испаренного факела используют законы турбулентной диффузии. Внутри частично испаренного факела местные концентрации определяются движением капель по баллистическим траекториям и турбулентной диффузией образующихся паров и мелких капель.

Поля концентрации внутри неиспаряющегося факела определяются спектром распыла и баллистическими траекториями капель на расстоянии, при котором траектории достигают предельного радиуса и характеризуются функцией  $\chi$ , не зависящей от начального потока вещества

$$\chi = \frac{n \left( \frac{y_i}{y_{cp}} \right)^{\frac{2n}{3} - 2}}{0,301 \left( \frac{y_i}{y_{cp}} \right)^{\frac{2n}{3}} \cdot 10}$$

Вид поля концентраций зависит от показателя  $n$  равномерности распыла.

УДК 532

## **ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОМАССООБМЕНА В КРУПНОМАСШТАБНЫХ АППАРАТАХ КИПЯЩЕГО СЛОЯ СЛОЖНОЙ СТРУКТУРЫ НА ПРИМЕРЕ РЕАКТОРА ДЕГИДРИРОВАНИЯ ИЗОПАРАФИНОВ**

ХУРМАТУЛЛИНА Л.Ф., АХМАДУЛЛИН А.М., КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. ст. преп. СОЛОВЬЕВА О.В.

В химической промышленности активно используются аппараты псевдооживленного слоя. Преимуществом являются высокие скорости тепло- и массообмена между участниками реакции, находящимися в разных агрегатных состояниях. Исследования крупномасштабных аппаратов затруднены большими размерами, множеством структурных элементов.

В настоящей работе рассмотрен блок реактора псевдооживленного слоя, предназначенный для дегидрирования изобутана. В численном моделировании псевдооживления получил распространение Эйлеров-Эйлеров подход, когда и несущая (газ, жидкость), и дискретная (твердая) фазы считаются непрерывными. Для учета особенностей движения в псевдооживленном слое, по аналогии с кинетической теорией газов, добавлено уравнение, описывающее изменение кинетической энергии гранул вследствие их столкновений. Дифференциальные уравнения, описывающие гидродинамические и тепловые процессы, в расчетной области модели реактора решались в CFD пакете ANSYS Fluent для осесимметричной нестационарной схемы течения. При полном моделировании работы блока реактора в дифференциальных уравнениях для массового содержания компонентов газовой смеси необходимо учитывать изменения, связанные с протеканием химических реакций. В используемой модели для этого необходимо в уравнения добавить слагаемые массопереноса и поглощения тепла, зависящие, главным образом, от температуры газа и концентрации катализатора.

В настоящей работе ограничимся рассмотрением минимального числа компонентов реакции (сырье – изобутан, продукт – изобутилен). Для заданной химической реакции написана UDF. Исследовано влияние окружающего газа, катализатора и шага по времени на протекание химической реакции в элементарном объеме. Проведены численные расчеты, проанализированы циркуляционные потоки в аппарате, температурные поля, распределение катализатора и конверсия поступающего газа-сырья.

УДК 541.62

## **ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ НА МОЛЕКУЛЯРНОЕ СТРОЕНИЕ НЕКОТОРЫХ СОЕДИНЕНИЙ МЫШЬЯКА**

ШАЙМУХАМЕТОВ М.И., ШАЙМУХАМЕТОВА А.Ш., КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. д-р хим. наук, проф. ХАЛИТОВ Ф.Г.

Исследование явлений, обусловленных слабыми внутри- и межмолекулярными взаимодействиями, представляет собой одну из актуальных задач современной химической и молекулярной физики. Межмолекулярные взаимодействия играют исключительно важную роль в понимании кинетики химических реакций, процессов растворения и адсорбции, эффектов самоорганизации молекул и образования супрамолекулярных систем с необычными физико-химическими свойствами. Известно, что при кристаллизации вещества изменяется характер межмолекулярных взаимодействий, что приводит к влиянию среды на строение молекул и их физико-химические характеристики.

В работе проведен анализ изменения конформационного строения трех- и четырехкоординированных соединений вида  $R_2As-CH_2X$  и  $(O)As(OR)_3$  в процессе фазового изменения «жидкость – кристалл». Методами спектроскопии показано, что в процессе фазового изменения соединения вида  $(O)As(OR)_3$ , где  $R = Me$  (I),  $Et$  (II) объединяются в димеры и образуют четырехчленные циклические соединения. Проведен анализ частот и интенсивностей полос в ИК- и КР-спектрах.

Для соединений  $(O)As(OPr-i)_3$ ,  $I_2As-CH_2Cl$  наблюдаются конформационные изменения. Методом ИК-спектроскопии показано наличие конформационных равновесий в жидком, кристаллическом состоянии и растворах различной полярности. Выявлены ИК-полосы, чувствительные к конформационным изменениям. Проведены эксперименты с варьированием температуры и диэлектрической проницаемости среды. Температурные исследования при охлаждении этих растворов позволили количественно рассчитать величины относительных энергий разных поворотных изомеров. Для оценки относительных дипольных моментов разных конформеров, реализующихся в равновесии, проведены эксперименты в растворах различной полярности.

УДК 66.045

## **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ГОРЕНИЯ ЗАРЯДОВ ДЛЯ УСТАНОВОК ИМПУЛЬСНОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ**

ШАРИПОВ И.И., ШАРИПОВА Ф.И., КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. канд. техн. наук, доц. ПОПКОВА О.С.

Последнее время широкое распространение получают автономные системы пожаротушения, использующие газогенераторы на твердом топливе. Основные достоинства таких систем: модульное конструктивное исполнение; малая капиталоемкость; простота эксплуатации; большая эффективность вследствие сокращения времени подачи огнетушащего вещества (порядка 0,2 с); уменьшение сроков ликвидации последствий пожара, соответственно, снижение уровня токсического воздействия продуктов горения.

Математическая модель процессов, происходящих в установке импульсного порошкового пожаротушения серии «Вулкан», разработана в термодинамической постановке с допущениями, обычно принятыми при решении основной задачи внутренней баллистики ствольных систем.

Рассмотрено влияние величин давления разрушения мембраны ( $p_p$ ), перекрывающей отверстия в перфорированной трубке установки импульсного порошкового пожаротушения, и прогрессивности горения порохового заряда ( $\sigma = 1+2\psi$ ) при давлениях 40, 60, 80, 100, 120 и 140 МПа.

Результаты проведенных расчетно-теоретических исследований качественно и во многом количественно совпадают с результатами экспериментов, проведенных на разработанной модельной установке. Математическая модель процессов, происходящих при работе модельной установки импульсного порошкового пожаротушения, будет полезна на этапе предварительного проектирования как зарядов, так и конструкций модулей установок порошкового пожаротушения.

УДК 536.24

## МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ВРЕМЕНИ ТЕПЛОВОЙ РЕЛАКСАЦИИ И ТЕРМИЧЕСКОГО ДЕМПФИРОВАНИЯ ТВЕРДОГО ТЕЛА

ЮДАХИН А.Е., КГЭУ, г. Казань

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

Совместные исследования, проведенные в Казанском научном центре и КГЭУ, показали, что модель двухфазного запаздывания точнее описывает кратковременные переходные термические процессы, чем гипотезы Фурье и Каттанео – Верно.

$$\vec{q}(t, \vec{r}) + \tau_q \frac{\partial \vec{q}(t, \vec{r})}{\partial t} = -k \nabla T(t, \vec{r}) - k \tau_T \frac{\partial \nabla T(t, \vec{r})}{\partial t}. \quad (1)$$

В формуле (1)  $q$  – тепловой поток, Вт;  $t$  – время, с;  $T$  – температура, К;  $k$  – теплопроводность, Вт/(м · К);  $r$  – координаты, м;  $\tau_q$  – время релаксации, с;  $\tau_T$  – время термического демпфирования, с.

Процессы тепловой релаксации и термического демпфирования, учитываемые уравнением двухфазного запаздывания (1), оказывают существенное влияние на характер переходного процесса. Однако в литературе нет данных о совместном измерении времен тепловой релаксации и термического демпфирования, поэтому разработка метода измерения этих величин является актуальной задачей.

Цель данного исследования – отработка метода определения времен тепловой релаксации и термического демпфирования твердого тела.

Метод включает в себя следующие процедуры:

1. Подготовка и проведение серии опытов с исследуемым образцом с регистрацией переходного термического процесса внутри него.
2. Построение математической модели переходного термического процесса в заданной точке тела с использованием формулы (1) с краевыми условиями, адекватными проведенным опытам.
3. Подбор значений времен тепловой релаксации и термического демпфирования, обеспечивающих наилучшее совпадение расчётного переходного термического процесса с опытным.

Предлагаемый метод позволил определить значения времен тепловой релаксации и термического демпфирования для образцов из полиметилметакрилата:  $\tau_q = 2,0$  с,  $\tau_T = 1,4$  с.

## **СЕКЦИЯ 2. ПРОМЫШЛЕННАЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА**

УДК 532.542

### **К РАЗРАБОТКЕ ПЛАНА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ЛОКАЛИЗАЦИИ И ЛИКВИДАЦИИ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ В СИСТЕМЕ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**

АНДРЕЕВ С.В., ОКАТОВ И.М., ЩЕРБАКОВ М.С., ИГЭУ, г. Иваново  
Науч. рук. д-р техн. наук, проф. АВДЮНИН Е.Г.;  
канд. техн. наук, доц. СЕННИКОВ В.В.

Согласно нормативным документам (Постановление Правительства № 492 и Федеральный Закон № 116), системы централизованного теплоснабжения муниципального образования имеют в своем составе опасные производственные объекты, для которых разработка плана мероприятий является обязательной.

Разработка плана мероприятий невозможна без наличия электронной модели схемы теплоснабжения. Последние, в свою очередь, должны иметь интегрированный модуль качественной и количественной оценок последствий в случае возникновения аварийных ситуаций в тепловых сетях (например, программный модуль «Надежность» в программно-расчетном комплексе «Zulu Thermo 7.0»).

При количественной оценке аварийных ситуаций в тепловых сетях возникает проблема распределения значительных сумм по годам эксплуатации на замены участков тепловых сетей с большими значениями величины потока отказов или выработавших свой эксплуатационный ресурс.

Для ее решения нами при использовании методики С.Н. Кирюхина (ОАО «Газпром промгаз», г. Москва) разработана программа по планированию замены участков тепловой сети, которая позволяет оптимизировать распределение денежных средств по замене участков тепловых сетей по годам эксплуатации.

УДК 667.646.25

## **О ПЕРСПЕКТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ СЖИГАНИЯ СТАРЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ШПАЛ В ТОПКАХ-САТЕЛЛИТАХ**

АХМЕТШИНА А.И., СИРАЗИЕВА Р.Р., ПАВЛОВ А.Г.,  
КНИТУ-КАИ, г. Казань

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. ПАВЛОВ Г.И.

В состав антисептика (каменноугольный креозот), которым пропитывают деревянные шпалы, входят нейтральные углеводороды с примесью фенолов, нафталина, антрацена. Эти соединения, попав в воздух, в зоне складирования использованных шпал, способны вызвать тяжелые отравления у людей и появление онкологических заболеваний. В связи с этим остро встает вопрос экологически безопасной утилизации накопившихся железнодорожных шпал. При неправильном сжигании в атмосферу выделяется большое количество токсичных веществ, таких как ацетон, бутанол, фенолы, фенантрены. Условия горения в штатных топках не обеспечивают желаемую концентрацию вышеуказанных ингредиентов. Для их огневого обезвреживания требуются специальные режимные условия в топке и нейтрализация вредных газов.

Нами предложено техническое решение, позволяющее использовать старые шпалы в качестве твердого топлива. Результаты проведенных исследований и технико-экономические показатели свидетельствуют о: соблюдении экологических требований, минимуме капитальных затрат, высоком коэффициенте энергоиспользования топлива, надежности работы установки и простоте ее обслуживания. Сжигание твердых горючих отходов совместно с твердым топливом происходит на тепловой электростанции (ТЭЦ) или государственной районной электростанции (ГРЭС) в топках-сателлитах, подключенных к энергетическому котлу, со сбросом горючих газов из этих топок в пылеугольную топку котла в зону температур 1250–1350 °С. Как правило, топки таких котлов имеют большие объемы, благодаря чему достигается длительное время пребывания продуктов горения отходов в высокотемпературной зоне. В топке котла происходит уничтожение диоксинов и фуранов, одним из условий огневого обезвреживания которых является время их пребывания в топке не менее 2 с.

Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИР и ОКР) проводятся в лабораториях КНИТУ-КАИ.

УДК 536.27

## **ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛООБМЕНА В КОЖУХОТРУБНОМ ТЕПЛООБМЕННОМ АППАРАТЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОЛЬЦЕВЫХ И ПОЛУКОЛЬЦЕВЫХ ВЫЕМОК**

БАГАУТДИНОВ И.З., КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. канд. техн. наук, доц. МИСБАХОВ Р.Ш.

В работе проводится сравнительный анализ эффективности применения разработанного нового вида интенсификатора полукольцевых выемок на трубе и кольцевых интенсификаторов. Параметры кольцевых интенсификаторов выбраны на основе рекомендаций работ В.В. Олимпиева, Э.К. Калинина, Г.А. Дрейцера, Ю.Ф. Гортышова и И.А. Попова. По результатам данных исследований были выявлены оптимальные размеры кольцевых интенсификаторов  $t/h = 2,8$ ,  $h/d = 0,25$ . Одним из сдерживающих факторов внедрения новых видов интенсификаторов являются значительные финансовые и технические затраты на научные исследования их эффективности и технологические возможности их дальнейшего изготовления. Оптимальным решением является применение численного моделирования, позволяющего существенно расширить область прикладных исследований, а также снизить их стоимость. Применение интенсификаторов приводит к увеличению теплового потока во всем диапазоне расходов теплоносителя. Наибольший эффект дает применение кольцевых интенсификаторов, но они также приводят к наибольшему росту гидравлического сопротивления. Остальные интенсификаторы приводят к примерно одинаковому росту теплового потока во всем диапазоне расходов.

УДК 621.175

## **МЕТОД АНАЛИЗА ВЛИЯНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ НА ОХЛАЖДАЮЩЮЮ СПОСОБНОСТЬ БАШЕННОЙ ГРАДИРНИ**

БАДРИЕВ А.И., К(П)ФУ, г. Казань  
Науч. рук. д-р техн. наук, проф. ШАРИФУЛЛИН В.Н.

Охлаждающая способность градирен во многом определяет важные показатели предприятий: мощность турбины, расход топлива для выработки электроэнергии, качество вырабатываемой продукции и т.д.

Однако существует проблема недоохлаждения воды. Востребованность в резервах охлаждающей способности особенно проявляется в летний период.

Градирням (как большим сооружениям) присущи неравномерности распределения потока. В то же время вопросам распределения потока воды в литературе уделено недостаточное внимание. Возникает задача оценки величины неравномерности распределения потока и степени её влияния на интенсивность испарения. Рассматриваются вопросы экспериментального определения неравномерности распределения плотности орошения по сечению аппарата, разработки метода определения влияния неравномерности на интенсивность процесса массопереноса, а также разработка метода оценки характеристики градирни, основанной на использовании неравномерности плотности орошения по секциям.

При экспериментальном определении неравномерности распределения плотности орошения по сечению в некоторых точках каждой секции градирни БГ-2600 замерялось время наполнения емкости водой, затем вычислялась плотность орошения. В результате, обнаружен значительный разброс – 33 % от среднего значения.

Анализ влияния неравномерности на интенсивность массопереноса установлен с помощью статической функции распределения. Получена зависимость, доказывающая, что интенсивность массоотдачи зависит от распределения плотности орошения по сечению. Предложен упрощенный способ оценки рабочей характеристики градирни, основанный на использовании неравномерности плотности орошения по секциям.

Из полученных результатов следует, что в башенной градирне наблюдается значительный разброс плотности орошения по сечению и при увеличении дисперсии распределения плотности орошения скорость процесса массоотдачи падает. Получена рабочая характеристика, определяющая охлаждающую мощность градирни.

УДК 620.9

## **ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНОГО ВИДА ГРУНТА НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ**

БУДАРИНА О.А. , КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. асс. ГАПОНЕНКО С.О.

Повышение надежности и безопасности трубопроводного транспорта является одной из наиболее актуальных задач в магистральных трубопроводах. Особую трудность представляет обеспечение надежности

подземных участков линейной части, проложенных в сложных инженерно-геологических условиях. В настоящее время данная проблема решается приборами, основанными на акустическом методе. К ним относятся расходомеры, корреляционные течеискатели с датчиками, работающими по принципу прослушивания шума утечки с поверхности земли. К сожалению, различная чувствительность течеискателей не позволяет выявлять утечки в безнапорных трубопроводах, а также чувствительность уменьшается по мере увеличения объема самой течи. Теоретически не исследована зависимость коэффициента поглощения акустического сигнала от расстояния, не достаточно исследовано влияние грунта на характер распространения сигнала, не изучена пространственная структура акустического поля. Грунт, окружающий трубу на различных участках, неоднороден: давление, плотность, сжимаемость могут изменяться в широких пределах и влиять на скорость акустических колебаний. Поперечные звуковые волны возникают и при отсутствии течи, создавая шум и препятствуя распознаванию коррозии. Поэтому данная работа будет посвящена изучению зависимости регистрации колебаний, создаваемых течью, от плотности грунта. А с другой стороны, затухание колебаний в мягком грунте значительно выше, чем в жестком.

Распространения колебаний в грунте – сложный процесс, зависящий как от теоретических факторов, так и от экспериментальных.

УДК 697.343

## **РАСЧЕТ ФИНАНСОВЫХ ПОТЕРЬ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ СВОЙСТВ ИЗОЛЯЦИИ ПАРОПРОВОДОВ ВСЛЕДСТВИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ДЕСТРУКЦИИ**

БАЗУКОВА Э.Р., КГЭУ, г. Казань

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

При добыче трудноизвлекаемых запасов нефти для изоляции паропроводов, как правило, применяется пенополиуретан (ППУ). Недостатком ППУ-изоляции является низкая термостойкость при высоких температурах с последующей потерей теплозащитных свойств вследствие температурной деструкции.

Перспективным направлением является исследование проблемы контроля за состоянием ППУ-изоляции паропроводов, что предположительно позволит снизить финансовые потери при их эксплуатации.

Был произведен расчет приближенных расходов, связанных с теплотерями паропроводов вследствие температурной деструкции тепловой изоляции.

Тепловая изоляция была выполнена в заводских условиях двухслойная: первый слой – цилиндры на основе базальтового волокна, второй слой – пенополиуретан, покровный слой – полиэтилен. Диаметр паропровода – 159 мм, температура транспартируемого пара – 198 °С.

Толщина пенополиуретана – 119 мм. Толщина базальтовой изоляции – 102 мм.

Результаты расчета приближенных расходов (руб./м) с одного метра паропровода с учетом температурной деструкции ППУ-изоляции представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты расчета приближенных расходов (руб./м) с одного метра паропровода с учетом температурной деструкции ППУ-изоляции

Диаметр паропровода, мм	Месяцы											
	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь
159	70,67	70,47	68,54	65,01	62	60,29	59,68	60,26	62,36	65,11	67,79	69,76

Таким образом, следует заключить, что контроль за изменением свойств ППУ-изоляции позволит снизить финансовые потери при эксплуатации паропроводов.

УДК 532.135; 662.757

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ВЯЗКОСТИ ВОДОУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА**

ГАЙНЕТДИНОВ А.В., ШАКИРОВ Р.Р., НИЗАМОВ И.С., КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. канд. техн. наук, доц. АХМЕТОВ Э.А.;  
д-р техн. наук, проф. МИНГАЛЕЕВА Г.Р.

В нашей стране происходит быстрое сокращение количества запасов природного газа и нефти, в результате чего появляется необходимость в альтернативных видах энергетических источников или топлив, которые смогли бы заменить их. Одним из решений данной проблемы, согласно энергетической стратегии России до 2030 года, обозначается развитие технологий энергетически и экологически эффективного сжигания угля в виде водоугольного топлива (ВУТ).

Водоугольное топливо – это суспензия, дисперсной фазой которой является угольная пыль с массовой долей 60–75 %, а дисперсной средой – вода с долей 25–40 %. Его сжигание осуществляется с меньшими затратами и меньшим количеством вредных выбросов по сравнению с обычным сжиганием угольной пыли. Так как его транспортировка осуществляется по трубопроводам, основными факторами, определяющими затраты энергии на его перекачивание, являются реологические характеристики, которые регулируются различными способами.

В нашей работе были определены, изучены и проанализированы основные способы улучшения такой реологической характеристики ВУТ, как вязкость.

Для возможности дальнейшего проектно-практического применения полученных экспериментальных данных осуществлено их математическое описание с применением конкретных моделей течения. Среди рассмотренных можно выделить модели Оствальда, Бингама, Кэссона, Карро, Муни и др.

В результате было определено, что данные модели вполне применимы для описания кривых течения полученных образцов ВУТ с содержанием твердых частиц 60 % по массе и с добавлением различных химических добавок в качестве пластификаторов. Наибольшее значение коэффициента достоверности аппроксимации было получено для модели течения ВУТ, пластификатором в котором являлся лигносульфонат технический, и оно составило  $R^2 = 0,999$ .

УДК 550.812.14

## **РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ПОИСКА СОБСТВЕННЫХ ЧАСТОТ ТРУБОПРОВОДА**

ГАПОНЕНКО С.О., ЗАГРЕТДИНОВ А.Р., КГЭУ, г. Казань

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

Надежность энергетических систем напрямую зависит от внедрения мероприятий по предотвращению аварийных ситуаций. Наиболее опасными из них являются механические повреждения трубопроводных систем, возникающие в результате проведения ремонтных или строительных работ. При проведении земляных работ рекомендуется использовать специализированные приборы для обнаружения скрытых коммуникаций (трассоискатели). Однако серийно-выпускаемые трассоискатели основываются на регистрации электромагнитных полей различной частоты и природы возникновения, что ограничивает возможность детектирования неметаллических объектов.

Предлагается новый метод определения трассировки скрытых каналов и трубопроводов (патент на изобретение № 2482515). Метод заключается в генерации резонансных звуковых колебаний в полости искомого объекта, при этом оконтуривание этого объекта осуществляется путем перемещения чувствительного элемента (микрофона или пьезоэлектрического датчика) над зоной поиска. Прибор, основанный на регистрации звукового поля, в отличие от электромагнитного, позволит существенно расширить область детектирования полых объектов, изготовленных из различных материалов. Научная значимость проекта характеризуется разработкой методической и приборной базы нового метода, а также его апробацией путем проведения численных и натурных экспериментов.

Анализ мод колебаний является эффективным экспериментальным методом определения динамических характеристик конструкций на основе результатов измерений и анализа вынужденных механических колебаний.

В программной среде ANSYS была построена модель бездефектной трубы (рис. 1). Размеры исследуемой трубы составляют длина – 1380 мм, диаметр – 25 мм, толщина стенки трубы – 2 мм. Крепления трубы по поверхностям при расчетах принимались жесткими и производились с разных концов трубы (рис. 2).



Рис. 1. Трубопровод (полиэтилен)  
1380×25×2

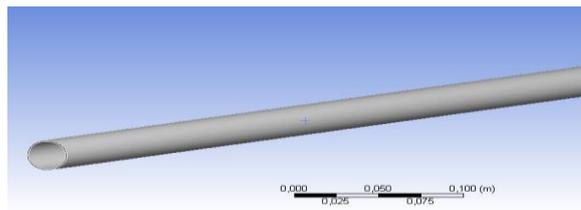


Рис. 2. Модель бездефектного  
трубопровода в ANSYS

УДК 62.843

## **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ УСТАНОВКИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ТЕПЛОВОГО ПУНКТА**

ДОЛГАНОВА Е.С., КГЭУ, г. Казань

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

В настоящее время все больше внимания уделяется вопросам энергосбережения и оплаты энергоносителей. Особенно сложная ситуация наблюдается в системе оплаты тепла, когда потребитель оплачивает потери в не принадлежащих ему теплотрассах, которые достигают (а иногда и превышают) 20 % от объема передаваемого тепла. Как следствие – снижение в зимнее время температуры воздуха в жилых и производственных помещениях из-за недогрева воды в системах централизованного теплоснабжения и непрерывный рост финансовых затрат на теплоснабжение из-за повышения тарифов на тепловую энергию.

Перспективным подходом к разрешению сложившейся ситуации служит ввод в эксплуатацию автоматизированных тепловых пунктов с коммерческим узлом учета тепла, который отражает фактическое потребление тепловой энергии потребителем и позволяет отслеживать текущее и суммарное потребление тепла за заданный промежуток времени.

Автоматизированный тепловой пункт позволяет обеспечивать:

- автоматическое поддержание графика температуры теплоносителя, подаваемого в систему отопления, горячего водоснабжения, вентиляции и кондиционирования с учетом температуры наружного воздуха, времени суток и рабочего календаря, тепловой инерции стен здания вне зависимости от располагаемого напора тепловой сети;

- автоматический и ручной режимы управления входящими агрегатами и устройствами;

- автоматическое управление циркуляционными насосами;

- автоматический контроль и индикацию возникающих внештатных ситуаций;

- оптимизацию теплоснабжения производственного, административного, общественного здания или частного жилого дома путем задания графика отопления либо жилого здания с учетом бытовых тепловыделений;
- поддержание или сохранность работоспособности теплосистемы объекта при критических или аварийных режимах работы теплоснабжающей сети.

УДК 697.343

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ НА ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ТРУБОПРОВОДОВ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**

ДУГИНА А.В., КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. асс. ГАПОНЕНКО С.О.

Гидравлическое сопротивление трубопроводов, находящихся в длительной эксплуатации, существенно отличается от гидравлического сопротивления трубопроводов в состоянии поставки. Рост гидравлического сопротивления в процессе эксплуатации обусловлен, с одной стороны, резким изменением шероховатости и рельефа внутритрубных поверхностей вследствие её коррозионного разрушения и формирования слоев отложений, с другой – уменьшением проходного сечения трубопроводов из-за тех же отложений и продуктов коррозии.

Наиболее эффективным способом снижения гидравлического сопротивления применительно к системам теплоснабжения является гидрофобизация внутритрубных поверхностей посредством их модификации с использованием поверхностно-активных веществ (ПАВ).

В качестве ПАВ используются пленкообразующие амины, молекулы которых при определенных условиях, адсорбируясь из водной среды на трубные поверхности, создают плотноупакованные слои в виде «частокола» Лэнгмюра, посредством чего поверхность из гидрофильной превращается в гидрофобную.

Молекулярные слои ПАВ, адсорбированные на трубную поверхность из водной среды, существенно изменяют гидравлическое сопротивление трубопроводов в диапазоне скоростей течения теплоносителя 0,5–2,5 м/с, гидравлическое сопротивление трубопроводов уменьшается на 28,1–38,5 % соответственно.

В результате применения ПАВ на внутренние поверхности трубопроводов происходит существенное снижение гидравлического сопротивления.

УДК 628.35

## СПОСОБЫ УТИЛИЗАЦИИ ИЛОВОГО ОСАДКА

ЗАМАЛИЕВ А.Н., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. КОСТЫЛЕВА Е.Е.

Ежегодно в России образуется более 200 000 000 м<sup>3</sup> осадка сточных вод, депонируемого на иловые поля. Размещение отходов на иловых полях приводит к отрицательному влиянию на окружающую среду. Осадки городских сточных вод являются потенциальным источником микробного загрязнения объектов окружающей среды, в том числе поверхностных вод, питьевой воды и почвы. При попадании необеззараженного осадка сточных вод в окружающую среду возникает эпидемиологическая опасность для населения за счет распространения возбудителей инфекций с фекально-оральным механизмом передачи. В следствие почти полного отсутствия заводов по сжиганию илового осадка существует острая необходимость в рекультивации иловых полей.

В связи с этим существует необходимость по внедрению новых методов в переработке илового осадка.

Основными направлениями развития утилизации илового осадка являются:

1. Печь с псевдоожиженным слоем (где поддерживается в подвешенном состоянии с помощью постоянного восходящего потока воздуха), которая работает при температуре приблизительно 900 °С и сжигает осадок в течение нескольких секунд.

2. Реактор быстрого пиролиза, в котором при высоких температурах и отсутствии воздуха углеводородные соединения распадаются на газообразные, жидкие и твердые фракции.

Такие заводы не только сжигают токсичный иловый осадок, но и выделяют тепловую энергию, которой покрывают затраты на процесс утилизации, а избыток может быть расходуван по желанию заказчика.

В России на сегодняшний день функционируют лишь два завода по сжиганию осадков в печах с псевдоожиженным слоем в городе Санкт-Петербург, а также ведутся пуско-наладочные работы на заводе с применением реактора быстрого пиролиза в городе Набережные Челны.

В связи с широким распространением данной проблемы, экологической эффективностью и малым сроком окупаемости данные установки могут найти применение как в малых городах с численностью населения около 400 000 чел., так и в мегаполисах.

УДК 621.311.245

## **СРАВНЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РАЗНЫХ ТИПОВ ВЕТРЯНЫХ УСТАНОВОК**

ЗАХАРОВА В.Е., КГЭУ, г. Казань

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

Ветряные электростанции производят электричество за счет энергии перемещающихся воздушных масс ветра.

Ветрогенераторы применяются в самых различных местах. Это открытые территории с хорошим ветропотенциалом, поля, острова, мелководье, горы. Как следствие энергетической политики в России – места, где подключение к существующим сетям дороже ветроэнергетического проекта или доставка дизельного топлива обходится недешево.

Все разнообразие конструкций ветряных генераторов можно свести к двум большим группам: с горизонтальным расположением ротора генератора и с ротором вертикального типа.

В данной работе рассмотрены некоторые подтипы ветряных установок и выделены основные плюсы и минусы их использования. Так, например, горизонтальные генераторы флюгерного типа обладают более высоким КПД, меньшей материалоемкостью. Но требуют применения мачт большей высоты, имеют сложную механическую часть и неудобны в обслуживании. Станции вертикального типа менее экономичны, они имеют большую материалоемкость, но работают в большем диапазоне скоростей ветра и более компактны.

УДК 66.048.3

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОНШОНА – МЕРКЕЛЯ И МАК-КАБЭ – ТИЛЕ К ПРИЛОЖЕНИЮ К РАСЧЕТУ РЕКТИФИКАЦИОННЫХ УСТАНОВОК**

ИВАНОВА К.М., ИГЭУ, г. Иваново

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. БАННИКОВ А.В.

Ректификация – это процесс разделения бинарных или многокомпонентных смесей за счет противоточного массо- и теплообмена между паром и жидкостью.

Для оценки энергоэффективности при разделении многокомпонентных смесей необходимо проанализировать известные методы расчета ректификационных установок и обозначить наиболее точный метод.

В ходе работы авторами был произведен расчет ректификационной колонны непрерывного действия тарельчатого типа с ситчатыми тарелками для разделения бинарной смеси «бензол–толуол». Теоретическое число тарелок было рассчитано 2-мя графическими методами: метод Мак-Кабэ – Тиле и метод Понсона – Меркеля. Графический метод наиболее нагляден и прост в применении по сравнению с аналитическим.

Первый метод (метод Мак-Кабэ – Тиле) сводится к построению диаграммы фазового равновесия с помощью рабочих линий укрепляющей и исчерпывающей части колонны. Обязательным элементом при этом является диаграмма зависимости концентрации компонентов жидкой фазы от концентрации паровой фазы, характеризующая паро-жидкостное равновесие.

Метод Мак-Кабэ – Тиле позволяет быстро, хотя и не совсем точно, определить теоретическое число тарелок ректификационной колонны. Несмотря на простоту этого метода, единственное допущение, которое при этом приходится делать, – это то, что соотношение между жидкостью и паром в адиабатической части колонны остается неизменным.

В ряде случаев удобно представить равновесие в диаграмме «энтальпия–концентрация». При разделении смеси компонентов, у которых молярные или массовые теплоты испарения сильно отличаются, потоки пара и флегмы уже нельзя принимать постоянными по высоте колонны. Следовательно, рабочие линии становятся непрямыми. При построении кривых рабочих линий необходимо учитывать энтальпии пара и жидкости с изменением этих свойств. В этом случае целесообразно применить метод Понсона – Меркеля.

УДК 534.64

## **НЕСТАЦИОНАРНОЕ ГОРЕНИЕ ЗАРЯДА ТВЕРДОТОПЛИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ ЩЕТОЧНОГО ТИПА**

ИЛЬИЧЕВА А.Д., ГУСЕВ А.Л., КНИТУ-КАИ, г. Казань  
Науч. рук. канд. техн. наук, доц. ЯГОФАРОВ О.Х.

Опыт отработки ракетного двигателя твердого топлива (РДТТ) щеточного типа показал, что существуют важные явления, необъяснимые в рамках прежних представлений теории стационарного горения порохов,

разработанных Я.Б. Зельдовичем и Д.А. Франк-Каменецким. Эти явления удается понять только исходя из представлений нестационарной теории горения и описать такие практически важные явления, как возникновение колебаний в камере сгорания ракетного двигателя, разрушение твердого топлива (ТТ) заряда в конце горения, уменьшение удельного импульса тяги.

В данной работе проведено детальное экспериментальное исследование влияния колебаний потока газа, текущего вдоль поверхности горения, на течения в местах крепления заряда, согласно трактовке Ю.А. Победоносцева, впервые проанализировавшего эти явления.

На первом этапе исследования были проведены расчеты и опыты собственных мод колебаний камеры сгорания с зарядом и без него.

Результаты аналитического расчета стержня, закрепленного с одной стороны, нагруженного продольной силой, подтверждают вероятность возникновения параметрического резонанса, приводящего к разрушению заряда.

УДК 621.64

## **ОБЗОР ПРИБОРОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ТЕПЛОВОГО ПОТОКА**

ИСЛАМОВА С.И., БАЗУКОВА Э.Р., КГЭУ, г. Казань

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

Совершенствование конструкций требует экспериментальных исследований процессов теплообмена. Известно, что в процессе эксплуатации паропроводов и битумопроводов температура на внутренней поверхности теплоизоляции может превысить 120 °С, что приводит к изменению теплоизоляционных свойств материалов. Установлено, что удельные тепловые потери при повышении коэффициента теплопроводности могут увеличиться до 35–40 %. Следовательно, одними из важных задач теплоэнергетики на сегодняшний день, стоящих перед субъектами экономики, являются широкое внедрение и применение систем измерения теплового потока, а также увеличение точности измерений.

Существует множество приборов для измерения тепловых потоков. Несмотря на то, что используют их более полувека, современные датчики мало чем отличаются от прототипов, разработанных 30 и более лет назад.

Наиболее известными производителями являются: Vatel Corporation (США), International Thermal Instrument Corp. (ITIC) (США), Wuntronic GmbH (Германия), Captec Entreprise (Франция), Hukseflux (Нидерланды), Tfx-Technology® (Thermoflux) (Швейцария), Sequoia (Англия), ОАО НПП «Эталон» (Россия), ОАО «НПОИТ» (Россия).

Несмотря на большое количество производителей оборудования для определения фактических тепловых потерь с учетом технического состояния тепловой изоляции требуется проведение исследований, результатом которых будет являться методика диагностирования тепловой изоляции с помощью приборного комплекса, разработанного на базе измерителя плотности тепловых потоков и температуры.

УДК 628.3

## **БЕССТОЧНАЯ СИСТЕМА – ВАРИАНТ ВОДОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

ИСЛАМОВА А.М., КГЭУ, г. Казань

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

Основными путями улучшения водоснабжения промышленных предприятий являются разработка новых технологий, характеризующихся сокращением потребляемой воды и загрязненных стоков; подготовка очищенной воды к повторному использованию; организация бессточных систем, включая сбор и использование очищенных сточных вод с территории предприятий.

В бессточных системах водоснабжения на предприятиях вместо свежей воды используется доочищенная до норм качества технической воды смесь промышленных и бытовых сточных вод, предварительно прошедшая биологическую очистку.

Бессточные системы водоснабжения являются наиболее современными и экологически чистыми типами систем.

В таких системах городские сточные воды предприятий после доочистки используются для восполнения потерь воды в системах оборотного водоснабжения. Внедрение на предприятии бессточной системы водоснабжения дает возможность исключить сброс в водоем химически загрязненных стоков, утилизировать отходы производства.

В работе рассматривается вариант, содержащий три стадии очистки сточных вод промышленного предприятия с последующим возвратом очищенной воды в систему водоснабжения:

1 стадия – очистка от механических примесей (использование гидроциклонов, механических фильтров, прудов-отстойников и т.д.);

2 стадия – использование испарительной установки с распылительной сушилкой;

3 стадия – получение сухого остатка примесей с последующей утилизацией и захоронением.

Преимущество использования данной системы водоснабжения состоит в том, что система повторного использования воды внутри промышленного комплекса является высокоэффективным направлением в сокращении водопотребления и сброса сточных вод.

УДК 621.22+621.311.21

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИДРОАККУМУЛИРУЮЩЕЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ**

ИСМАИЛОВА Г.М., КГЭУ, г. Казань

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

Гидроаккумулирующая электростанция (ГАЭС) предназначена для покрытия пиков графика электрической нагрузки энергосистемы с использованием электроэнергии в период глубоких провалов нагрузки.

Целью данной работы является рассмотрение эффективности гидроаккумулирующих электрических станций, так как в настоящее время аккумулярование имеет огромное значение для энергетических хозяйств.

Приведено описание процесса аккумуляции гидроэнергии, поскольку её можно аккумулировать в больших количествах и использовать для выравнивания переменной нагрузки энергосистем, конструкция сооружений ГАЭС и принцип работы.

Также рассматриваются преимущества и недостатки таких станций. Особое внимание уделяется тому, что ГАЭС предназначены для работы в составе энергосистемы совместно с другими гидроэлектростанциями или с одной–двумя ТЭС или АЭС.

УДК 622.7.01:658.261

**ИССЛЕДОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ  
ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ДОСТИЖЕНИЯ  
ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО ЭФФЕКТА  
В ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТАХ**

ИСЯНГИЛЬДИНА Л.Х., ДЕМИН Ю.К., МГТУ им. Г.И. Носова,  
г. Магнитогорск

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

Исходя из того, что цены на энергетические ресурсы с каждым годом становятся все выше, возникает вопрос об их экономии. В большинстве случаев требуемая температура для работы теплового агрегата значительно ниже температуры горения топлива. Для понижения температуры дымовые газы разбавляют холодным воздухом, теряя исходный температурный потенциал, одновременно с этим растут потери теплоты с выходящими из агрегата газами из-за увеличения их объема. Возможным решением данной проблемы является использование для охлаждения газовой турбины (ГТ) с последующей генерацией электрической энергии. Таким образом, более полно используется температурный потенциал топлива, сокращается объём образующихся газов, следовательно, уменьшаются и потери с дымовыми газами при выходе из теплового агрегата. Ранее было определено, что при работе теплового агрегата выше 550 °С, использование ГТ дает экономию топлива, получаемую за счет сокращения потерь, указанных выше, а также собственной генерации электрической энергии по сравнению с выработкой электрической мощности на удаленной электростанции. Касательно потерь, в случае сжигания метана, их уменьшение при использовании ГТ может достигать при температуре у потребителя  $\pm 550$  °С – 33,9 % от низшей теплоты горения, 650 °С – 27 %, 700 °С – 24,5 %.

Таким образом, из полученных результатов можно сделать вывод об уменьшении количества потерь с дымовыми газами, что ведет к энергосберегающему эффекту при использовании ГТ перед тепло-использующими агрегатами.

УДК 620-1

## **ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССОВ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ**

КАЛИНИНА М.В., КГЭУ, г. Казань

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

Основное направление использования солнечной энергии – преобразование ее в электрическую энергию и получение теплоты для отопления зданий, горячего водоснабжения, опреснения вод, сушки и других технологических целей.

В настоящее время во всем мире существует проблема экологически безопасного энергообеспечения. Существует ряд энергоресурсов, не наносящих урон окружающей природе и экологической ситуации в целом. В работе рассматривается один из них. Солнечный коллектор (гелиоустановка) – устройство для сбора тепловой энергии Солнца, переносимой видимым светом и ближним инфракрасным излучением. В отличие от солнечных батарей, производящих непосредственно электричество, солнечный коллектор производит нагрев материала – теплоносителя.

Поступающая к нам солнечная энергия в принципе многократно превосходит энергетические потребности человечества. Однако использование солнечной энергии связано с определенными трудностями, что ограничивает широкомасштабную реализацию технологий. К ним относятся: малая плотность солнечного потока, непостоянство и прерывистость поступления солнечной энергии во времени, зависимость этого потока от географического расположения приемника излучения и др.

Солнечные коллекторы применяются для отопления промышленных и бытовых помещений, для горячего водоснабжения производственных процессов и бытовых нужд. Наибольшее количество производственных процессов, в которых применяется горячее водоснабжение (30–90 °С), проходят в пищевой и текстильной промышленности и имеют самый высокий потенциал использования солнечных коллекторов.

УДК 621.64

## **УТИЛИЗАЦИЯ ТЕПЛА ВЫХЛОПНЫХ ГАЗОВ ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ**

КАМАЕВА Г.Р., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, проф. КЕСЕЛЬ Б.А.

Газотурбинная установка (ГТУ) – энергетическая установка: конструктивно объединённая совокупность газовой турбины, электрического генератора, газоздушного тракта, системы управления и вспомогательных устройств. ГТУ предназначены для эксплуатации в любых климатических условиях как основной или резервный источник электроэнергии и тепла для объектов производственного или бытового назначения. Области применения газотурбинных установок практически не ограничены: нефтегазодобывающая промышленность, промышленные предприятия, муниципальные образования.

В настоящее время газотурбинные установки начали широко применяться в малой энергетике.

Одной из таких задач является повышение эффективности энергетических установок с целью экономии органического топлива и наращивания энергетических мощностей. Наиболее перспективными в этом отношении являются газотурбинные установки, с уходящими газами которых выбрасывается до 20 % тепла. Существуют несколько путей повышения КПД газотурбинных двигателей, в числе которых:

- повышение температуры газа перед турбиной для ГТУ простого термодинамического цикла;
- применение регенерации тепла;
- использование тепла уходящих газов в бинарных циклах;
- создание ГТУ по сложной термодинамической схеме и т. д.

Наиболее перспективным направлением считается совместное использование газотурбинных и паротурбинных (ПТУ) установок с целью повышения их экономических и экологических характеристик. Газотурбинные и созданные с их использованием комбинированные установки при технически достижимых в настоящее время параметрах обеспечивают существенное повышение эффективности производства тепловой и электроэнергии.

УДК 621.18

## **ПАРОГАЗОВЫЕ ТЕПЛОНОСИТЕЛИ И ИХ ПРОМЫШЛЕННОЕ ПРИМЕНЕНИЕ**

КОРОТИН С.Ю., СамГТУ, г. Самара  
Науч. рук. д-р техн. наук, проф. ЩЁЛОКОВ А.И.

Важнейшими направлениями совершенствования теплогенерирующих установок являются снижение материалоёмкости и капитальных затрат, повышение эффективности использования топлива, расширение диапазона рабочих параметров теплоносителей. С целью решения указанных задач в настоящее время всё чаще рассматривается применение многокомпонентных теплоносителей, в частности парогазовых смесей. Парогазовую смесь получают, как правило, путём впрыска мелко распыленной воды в имеющие высокую температуру продукты сгорания органического топлива, в результате чего образуется качественно новый по своим теплофизическим свойствам теплоноситель.

Парогазовые теплоносители имеют широкую область применения, включая следующие сферы: снабжение тепловой энергией промышленных установок, пропарка скважин, емкостей и трубопроводов, выпаривание растворов, размораживание сыпучих веществ, термовлажностная обработка железобетонных изделий (ЖБИ) и пр. В отличие от водяного пара, для получения которого необходимо дорогостоящее и металлоёмкое котельное оборудование, парогазовые смеси образуются посредством контактного теплообмена продуктов сгорания с каплями воды в объёме смесительной камеры, что предопределяет значительную площадь теплообмена в ограниченном объёме, а стало быть – компактность установки, при условии достаточно тонкого распыла воды форсункой.

В ходе исследований, проводимых кафедрой промышленной теплоэнергетики СамГТУ, были разработаны конструктивные схемы теплогенераторов для получения парогазовой смеси при атмосферном и избыточном давлении, с температурой (в зависимости от соотношения продуктов сгорания и впрыскиваемой воды) от 100 до 800 °С. Проводимое ранее специалистами кафедры математическое моделирование процесса испарения капель воды обосновало теоретически параметры работы компактного парогазового теплогенератора на основе газогорелочного устройства, форсунки для впрыска воды и смесительной камеры. Была создана опытная установка, подтвердившая правильность полученных выводов.

УДК 66.048

## **ПРИНЦИП ТЕПЛООВОГО НАСОСА КАК СРЕДСТВО СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОЕМКОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРОЦЕССОВ РЕКТИФИКАЦИИ**

КРАСАВИНА Е.О., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. ПЛОТНИКОВА Л.В.

Ректификация – это процесс разделения многокомпонентных смесей на практически чистые компоненты путём многократного испарения жидкости и конденсации паров. Данный процесс является энергоёмким в связи со значительными затратами энергии, необходимой для разделения компонентов. Процессы ректификации широко распространены в промышленности. Они осуществляются в ректификационных колоннах, являющихся основным оборудованием нефтеперерабатывающей и нефтехимической отраслей промышленности, а также вспомогательным оборудованием ряда отраслей, таких как целлюлозно-бумажная, пищевая и т.п. В связи с широким использованием процессов ректификации проблема снижения их энергоёмкости актуальна на сегодняшний день.

При разделении образуются низкотемпературные вторичные энергоресурсы (ВЭР), потенциал которых следует полезно использовать. Их применение возможно в форме реализации принципа теплового насоса как закрытого, так и открытого циклов. Можно выделить несколько схем ректификационных установок с тепловым насосом. Принцип теплового насоса подразумевает использование сбросной теплоты верхнего продукта в качестве теплоносителя или хладоносителя после сжатия или дросселирования соответственно. Выбор схемы зависит от параметров ВЭР. Применение всех элементов теплового насоса усложняет и удорожает конструкцию. Следовательно, актуальна задача выбора целесообразного варианта, в связи с чем возникают предпосылки для создания ректификационной установки новой конструкции, которая позволит сэкономить энергоресурсы и материальные затраты. В ней также планируется реализовать принцип теплового насоса открытого цикла, используя вторичную энергию сжатых паров верхнего продукта.

Таким образом, при применении принципа теплового насоса появляется возможность минимизировать затраты энергии при ректификации за счет собственных ресурсов установки.

УДК 536.2:66.045.12

## УТИЛИЗАЦИЯ ТЕПЛОТЫ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ ГАЗОПОРШНЕВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

КРАСНОВА Н.П., СамГТУ, г. Самара

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

Современные системы энергоснабжения должны выполнять основные функции по бесперебойности подачи энергии с максимальной экономичностью при минимальных затратах. При производстве электрической энергии на ТЭС, работающей в конденсационном цикле, КПД составляет 30–40 %, при этом большая часть энергии топлива используется нерационально. Применение когенерации позволяет значительно увеличить КПД системы.

Основными источниками электроснабжения в удаленных районах нефте- и газоперекачивающих станций, вахтовых поселках являются современные газотурбинные или газопоршневые установки. Температура уходящих газов таких установок превышает 400 °С. Утилизация теплоты дымовых газов позволяет значительно улучшить экологические характеристики выбросов этих установок.

Поскольку сжигание газа в газопоршневых электростанциях сопровождается большим количеством воздуха ( $\alpha \leq 1,5$ ), в продуктах сгорания присутствует кислород в количестве 5–9 %. Высокое содержание кислорода в продуктах сгорания можно полезно использовать в котле-утилизаторе в качестве окислителя продуктов неполного горения. Предлагается схема применения котла-утилизатора теплоты уходящих газов за газопоршневым агрегатом с дожиганием продуктов сгорания в топке котла. Таким образом, перед топкой котла-утилизатора необходимо устанавливать дутьевую горелку, а воздух на горение разбавлять продуктами неполного горения от электростанции.

Вода, нагретая таким образом в котле-утилизаторе, может использоваться для отопления, горячего водоснабжения или технологических нужд.

Такая схема может быть использована в системах аварийного тепло- и электроснабжения, установках, работающих в отдаленных регионах страны, или военизированных частей.

УДК 621.64

## ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В СИСТЕМАХ ОТОПЛЕНИЯ

КУЛАГА А.О., ШЕВЧУК М.С., СамГТУ, г. Самара  
Науч. рук. канд. техн. наук, доц. БАКРУНОВА Т.С.

Регулировка температуры отопления – это очень важный момент, особенно в настоящее время, когда существуют нестабильность и постоянный рост цен, особенно на коммунальные услуги. Кроме того, потребителям тепла всегда хочется видеть хорошую теплоотдачу и эффективный обогрев своих помещений. Именно поэтому уменьшение расходов на систему отопления и оптимизация системы – хорошая практика, которая поможет сэкономить. Многие задумываются над тем, как сбалансировать систему отопления, как управлять степенью отдачи тепла от батарей отопления в зависимости от того, какой климат сейчас в помещении.

Для этого существует несколько проверенных способов: подача сетевой воды от генерирующих тепло установок с температурой, которая соответствует графику, рассчитанному на разные условия и внешние факторы; регулирование температуры воды при подаче в каждое конкретное помещение или отдельное здание автоматическим прибором, который работает от показаний датчиков, установленных внутри или снаружи здания; установка регулятора температуры отопления для каждой батареи.

Использование регулятора температуры отопления является достаточно выгодным вариантом. И этому есть несколько причин:

1. Регулятор в отличие от других устройств, контролирует температуру прямо в месте установки батарей, а не общую среднюю в некоем помещении, поэтому можно получить равномерный температурный фон, который обязательно удовлетворит потребителя.

2. Регулятор исключает перегревание воздуха в помещении, которое появляется в том случае, если комната нагревается солнцем. А датчики, установленные на централизованной автоматике, такую ситуацию отследить смогут очень редко.

3. Можно регулировать температуру по особенной схеме для каждой отдельной комнаты. К примеру, если Вы практически не используете какое-то помещение, то можно выставить расход воды в батареях до самого минимального, а там, где Вы бываете чаще всего, – наоборот, увеличить.

УДК 620.9

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА**

МАКАРОВ А.В., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, проф. КЕСЕЛЬ Б.А.

Ветроэнергетика – отрасль энергетики, специализирующаяся на преобразовании кинетической энергии воздушных масс в атмосфере в электрическую, механическую, тепловую или в любую другую форму энергии, удобную для использования в народном хозяйстве. Такое преобразование может осуществляться такими агрегатами, как ветрогенератор (для получения электрической энергии), ветряная мельница (для преобразования в механическую энергию), парус (для использования в транспорте) и др.

Сегодня в России суммарная установленная мощность ветряных энергетических установок (ВЭУ) составляет около 16 МВт. В стране действуют 9 ветроэнергетических станций установленной мощностью от 0,2 до 5,6 МВт. Среднегодовая выработка электроэнергии всеми ВЭУ составляет 12,8 кВт · ч/год.

Крупные ветряные электростанции включаются в общую сеть, более мелкие используются для снабжения электричеством удалённых районов. В отличие от ископаемого топлива, энергия ветра практически неисчерпаема, повсеместно доступна и более экологична.

В центральных районах севера ветры относительно слабые, а ближе к побережью достигают большей силы. Если в континентальных районах величина средней годовой скорости ветра составляет 2–3 м/с, то на побережье она может достигнуть 7 м/с. Максимальная скорость ветра на побережье иногда превышает 40 м/с, а в континентальных районах около – 20 м/с.

Использование энергии ветра становится, судя по всему, широко-масштабной тенденцией: в последнее время рынок ветрогенераторов испытывает бурный рост во всем мире. Поэтому многие страны стимулируют использование ветроагрегатов, а ведущие мировые энергокомпании, стремясь диверсифицировать свой бизнес, вкладывают большие средства в развитие технологий использования энергии ветра.

УДК 693.547

## **ПРОБЛЕМА ОЦЕНКИ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЗДАНИЙ**

МАКСИМОВ И.В., КУЛАГА А.О., СамГТУ, г. Самара  
Науч. рук. канд. техн. наук, доц. БАКРУНОВА Т.С.

Энергоэффективность – это явление энергетической отрасли на обеспечение рационального или эффективного использования энергии при минимальных затратах на ее производство и распределение. В рамках данной отрасли изучаются способы обеспечения зданий, промышленных объектов необходимым количеством энергии при сокращении общего объема ее использования. При этом данное направление практической деятельности не является идентичным энергосбережению, поскольку не изучает, как сэкономить энергию, а исследует способы ее наиболее рационального использования.

Критерии энергоэффективности вырабатываются отдельно применительно к жилым домам, промышленным и иным объектам. Так, для жилых домов примерами подобных критериев являются: предельный уровень энергопотребления системой теплоснабжения за каждый отопительный сезон; требования комфортного нахождения в помещениях жилого дома; необходимость исключения выпадения конденсата на внутренних поверхностях.

Для контроля над соблюдением энергоэффективности в рамках энергоаудита используется такое оборудование, как беспроводные сенсорные сети, тепловизоры. На сегодняшний день наиболее действенный способ определения участков, через которые уходит тепло из помещения, – с помощью тепловизора, показывающего, какие места являются проблемными с точки зрения энергоэффективности. Однако к проблеме выявления энергоэффективности необходимо подходить с точки зрения изучения всех возможных потерь тепла, источниками которых являются: окна, подоконники, стены, балки перекрытий, двери, места прохождения труб, встроенные в потолок светильники, углы помещений, наличие грибка на стенах, пол, розетки, лоджии и балконы и т.д.

Только комплекс мероприятий по оценке теплопотерь дадут максимально точное представление о тепловой эффективности помещений.

УДК 658.351

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ И ПРИБОРОВ КОНТРОЛЯ ТРУБОПРОВОДОВ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ**

МАЛАХОВ А.О., КГЭУ, г. Казань

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

Бесперебойная подача тепла и воды населению – главная задача всех организаций, занимающихся эксплуатацией тепло- и водопроводов.

Удельная повреждаемость по регионам России колеблется от 0,5 до 10 повреждений на 1 км трубопровода ежегодно. Наиболее частой причиной повреждения трубопроводов тепловых сетей (до 80 %) является наружная коррозия, вызванная в основном контактом металла труб с водой при периодическом или постоянном затоплении каналов грунтовыми или поверхностными водами.

Поддержание работоспособности трубопроводов производится путем своевременной замены изношенных участков трубы и проведением профилактических работ с инженерным оборудованием трубопровода. Основными источниками разрушения труб и образования течей являются зоны механических напряжений, в которых процессы коррозии, ползучести и усталости протекают наиболее интенсивно.

На данный момент существует множество способов диагностирования состояния тепловых сетей. Для упрощения задачи выбора метода диагностирования трубопровода требуется провести анализ повреждений труб, приборов и методов их обнаружения. Особое внимание нужно уделить приборам акустического контроля, в связи с их распространённостью и обилием на рынке подобных устройств.

Данный сравнительный анализ позволит обоснованно выбирать методы и приборы неразрушающего контроля для проведения диагностики тепловых сетей в различных условиях.

УДК 621.311

## ОСОБЕННОСТИ УТИЛИЗАЦИИ СНЕГО-ЛЕДОВОЙ МАССЫ НА ТЕПЛОЭЛЕКТРОЦЕНТРАЛЯХ МЕГАПОЛИСОВ

МОИСЕЕВ В.И., ИГЭУ, г. Иваново

Науч. рук. д-р техн. наук, доц. БУШУЕВ Е.Н.

Важнейшим условием нормального функционирования мегаполиса в зимний период является быстрая и высокоэффективная утилизация снего-ледовой массы (СМ), убранной с улиц и прилегающей территории. На сегодняшний день до 30 % убираемой СМ (для г. Москвы) утилизируется за счет прямого сжигания органического топлива на стационарных и мобильных снегоплавильных пунктах (СПП), что, кроме повышенных эксплуатационных затрат, ведет к дополнительному существенному загрязнению окружающей среды.

Одним из кардинальных путей решения проблемы утилизации СМ является расширение использования сбросной теплоты конденсационных установок теплоэлектроцентралей (ТЭЦ) мегаполисов, что также расширит применение принципа теплофикации, улучшит работу обратной системы водоснабжения.

Для эффективного использования низкопотенциальной тепловой энергии требуется разработка новых подходов к процессу утилизации СМ. Предложено разделять процесс утилизации на две стадии: стадию впитывания с максимальной площадью теплообмена и стадию конвективной утилизации. Аналитически эти стадии разделяются по значению коэффициента смачивания СМ (1), целесообразность использования которого подтверждена экспериментально:

$$K_{\text{СМ}} = 0,0115(916,3 - \rho)\Delta t / \rho, \quad (1)$$

где  $\rho$  – плотность утилизируемой СМ,  $\text{кг/м}^3$ ;  $\Delta t$  – располагаемый температурный перепад теплоносителя,  $^{\circ}\text{C}$ .

На основе проведенных исследований разработан и запатентован СПП циркуляционного типа. Применение на практике предложенных технических решений применительно к г. Москве приведет к снижению стоимости утилизации СМ до 5–50 раз в сравнении с её различными способами, уменьшению расхода сжигаемого топлива до 52 тыс. т/год для нужд утилизации СМ, сокращению токсичных выбросов в атмосферу города до 24 тыс. кг/год по оксидам серы и до 91 тыс. кг/год по оксидам

азота. При этом потери охлаждающей воды в оборотной системе водоснабжения снизятся до 74 литров на один кубометр утилизированной снежной массы.

УДК 621.438

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ МАСЛА В ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВКАХ В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА**

МЫЛЬНИКОВ В.В., КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. канд. техн. наук, проф. КЕСЕЛЬ Б.А.

В настоящее время повышение эффективности работы систем охлаждения масла в газотурбинных установках (ГТУ) является актуальной задачей. Главной задачей современного газотурбостроения является повышение экономичности и надежности работы газотурбинных установок всех типов. Эффективность систем охлаждения масла существенным образом зависит от перепада температур между охлаждающим воздухом и охлаждающей средой.

Цель работы состоит в создании высокоэффективных систем охлаждения масла на основе расчетно-экспериментальных исследований в условиях Крайнего Севера. В работе планируется рассмотреть современные методы гидравлического и теплового расчетов систем охлаждения масла в ГТУ, а также различные способы его охлаждения.

Повысив эффективность систем охлаждения масла, мы добьемся более сбалансированной работы, снижения энергозатрат и повышения мощности ГТУ.

УДК 68

## **МЕТОДИКА ОБУЧЕНИЯ РАБОТЫ НА АВТОМАТИЧЕСКОМ ОБОРУДОВАНИИ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ**

НАЗАРЫЧЕВ С.А., КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. д-р техн. наук, проф. ВАНЬКОВ Ю.В.

Оптимальное потребление тепловой энергии при соблюдении требуемой комфортности в помещениях зданий является основной задачей энергосбережения в сфере коммунального теплоснабжения, которой на сегодняшний день уделяется большое внимание.

На данный момент в системе теплоснабжения поквартирного отопления происходят значительные изменения. Это в основном связано с переходом от центрального теплового пункта (ЦТП) к индивидуальному тепловому пункту (ИТП). В связи с этим возникают затруднения с регулированием температуры и расхода теплоносителя внутри дома. Кроме того, это осложняется нехваткой квалифицированных специалистов, работа которых поможет создать комфортный тепловой режим при более качественном и точном регулировании.

Балансировка системы отопления с ручными балансировочными клапанами требует продолжительной настройки сети, наличия минимум двух сотрудников обслуживающего персонала и специализированного оборудования. Но при этом возникают осложнения в отоплении уже во время отопительного периода. Это связано с тем, что, когда одни потребители перекрывают регулирующие клапаны на радиаторах отопления, у других возникает перетоп, в связи с чем приходится открывать окна и отапливать улицу.

Всего этого можно избежать при установке автоматических балансировочных клапанов. Система будет автоматически регулировать расход теплоносителя на всех стояках. Следовательно, потребители при регулировании температуры у себя в помещении не будут влиять на температурный режим у других потребителей.

Обучение и проведение исследований проводятся в многопрофильном научно-техническом центре (НТЦ) компании «Danfoss», открытом в апреле 2015 года в Казанском государственном энергетическом университете.

Результатом нашей деятельности является создание лабораторного стенда и методики обучения и действий для сотрудников жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ) на автоматическом оборудовании, чтобы они могли обеспечить качественную работу системы теплоснабжения.

УДК 536.7:622.276

## **ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА В НЕФТЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

НИКОЛАЕВ А.В., АГНИ, г. Альметьевск

САФОНОВА М.А., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. ВАХИТОВА Р.И.; асс. МАЗАНКИНА Д.В.

Тяжелые нефти в условиях истощения традиционных энергетических ресурсов приобретают все большее значение в мировой экономике. Особенно актуально это в Татарстане, где месторождения легкой нефти выработаны более чем наполовину.

В настоящее время извлечение высоковязкой нефти связано с огромными энергетическими и финансовыми затратами, что отражается на высокой себестоимости конечного продукта. В связи с этим особую роль приобретает вопрос о методах уменьшения расходов на её добычу.

Одним из видов оборудования, сочетающим в себе возможность использования различных видов энергии, является многофункциональный энергетический комплекс (МЭК). При параллельной работе паровых котельных, применяемых при добыче тяжелой нефти, в сочетании с МЭК появляется возможность сокращения затрат и уменьшения расхода традиционного топлива.

В самом общем виде МЭК представляет собой систему энерго-снабжения, состоящую из отдельных модулей, конструктивно и функционально совместимых между собой. Комбинации согласуемых модулей позволяют в зависимости от конкретных условий получать различные по составу и мощности варианты МЭК. Модульное исполнение и специальная система управления позволяют вводить МЭК в эксплуатацию поэтапно и гибко изменять схему работы.

Тип используемых модулей определяется на основе оптимизации проекта в целом. При этом учитываются виды и запасы традиционных энергоносителей, а также энергетический потенциал и плотность возобновляемых источников энергии; характеристика потребителя энергии.

Совместное использование МЭК с котельными агрегатами на месторождениях тяжелой нефти позволяет снизить себестоимость добычи высоковязкой нефти и создать условия для окупаемости данного оборудования в период от 3 до 5 лет.

УДК 532.542

## **ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ ИНВЕСТИЦИОННОЙ ПРОГРАММЫ СХЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ МУНИЦИПАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ**

ОКАТОВ И.М., ЩЕРБАКОВ М.С., ИГЭУ, г. Иваново  
Науч. рук. д-р техн. наук, проф. АВДЮНИН Е.Г. ;  
канд. техн. наук, доц. СЕННИКОВ В.В.

При разработке / актуализации схем теплоснабжения муниципального образования согласно постановлению Правительства № 154, раздел «Инвестиции в строительстве, реконструкций и технического перевооружения» является обязательным.

Для разработки этого раздела необходимо иметь электронную модель схемы тепловых сетей муниципального образования. При анализе результатов моделирования определяются участки тепловых сетей с повышенными значениями потерь давления в трубопроводах, а также участки тепловых сетей с повышенными значениями тепловых потерь через изоляцию и с утечками теплоносителя, превышающие нормативные значения. Нами для реализации этой части инвестиционной программы использовался программно-расчетный комплекс (ПРК) «Zulu Thermo 7.0».

Вторая часть инвестиционных расходов связана с необходимостью замены участков тепловых сетей для доведения показателей надежности до нормативных значений. Нами для реализации данной части инвестиционной программы использовался расчетный модуль «Надежность» ПРК «Zulu Thermo 7.0». Это затраты на замены участков тепловых сетей, выработавших свой эксплуатационный ресурс (более 25 лет), имеющих большие значения интенсивности отказов, значительное время восстановления, большую величину недоотпуска тепловой энергии потребителям и др.

Нами разработаны инвестиционные программы для схем теплоснабжения ряда муниципальных образований.

УДК 621.64

## **РАЗРАБОТКА И ИСПЫТАНИЕ ОТКРЫТОЙ СИСТЕМЫ КРИООБЕСПЕЧЕНИЯ ТРАНСФОРМАТОРА НА ОСНОВЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СВЕРХПРОВОДНИКОВ**

РАКИТИН А.С., ЭНИН, г. Москва

Науч. рук. канд. физ.-мат. наук ФЛЕЙШМАН Л.С.

Система криообеспечения (СК) необходима для функционирования современного высокотемпературного сверхпроводящего (ВТСП) электрооборудования. Для первого в России опытного образца трехфазного ВТСП трансформатора, изготовленного в ОАО «ЭНИН», была разработана, собрана и испытана СК открытого типа.

Приведена схема СК и принцип ее работы. В составе СК условно выделяется блок хранения и подачи криогенной жидкости и система управления с датчиками и исполнительными устройствами. Блок хранения и подачи криогенной жидкости содержит два расходных сосуда, работающих попеременно. Система управления, основанная

на контроллере ATmega<sup>®</sup>328, обеспечивает автоматическое поддержание уровня криогенной жидкости в криостате обмоток ВТСП трансформатора.

Проведены оценочные расчеты рабочих характеристик СК, а также испытания, показавшие ее работоспособность. СК защищена патентом на полезную модель RU № 149137, может быть использована для охлаждения и криостатирования различного ВТСП электрооборудования энергетического назначения или стендовых установок с ВТСП элементами.

УДК 628.1

## **МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ВОДЫ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ**

РОТАЧ Р.Р., КГЭУ, г. Казань

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

В большинстве своём качество воды из природных источников не удовлетворяет требованиям к воде, используемой на предприятии, как в хозяйственно-бытовых, так и в технологических целях. Поэтому оборудование для водоочистки и водоподготовки для предприятий является неотъемлемой частью функционирования их производства.

Оборудование для промышленной очистки воды используют для улучшения её качества и корректировки показателей её состава до значений, установленных соответствующими нормативными документами. Качественная, правильно подготовленная вода позволяет увеличить срок службы установленного на предприятии оборудования, повысить качество выпускаемой продукции и избежать штрафных санкций со стороны органов надзора.

На предприятиях применяются различные методы обработки воды, однако в основном их все можно разделить на безреагентные, или физические методы, и те, в которых используются различные препараты (химические реактивы). Безреагентные (физические) методы применяются и как отдельные этапы в общем технологическом процессе обработки воды, и как самостоятельные методы, обеспечивающие получение воды требуемого качества. Применяя химическую обработку, можно получить как умягченную, так и глубокообессоленную воду; при одном из наиболее распространенных физических методов – термической обработке воды – всегда получают дистиллят, т.е. воду с очень небольшим содержанием примесей. Однако в ряде случаев при термической обработке, проводимой с целью глубокого обессоливания, применяется умягченная вода, т.е. прошедшая уже химическую обработку.

Выбор метода обработки воды, составление общей схемы технологического процесса при применении различных методов, определение требований, предъявляемых к ее качеству, существенно зависят от состава исходных вод и используемых технологических процессов на предприятии.

УДК 629.735+532.529.5

## **НЕСТАЦИОНАРНОЕ ДВИЖЕНИЕ ЖИДКОЙ ПЛЕНКИ В ДОЗВУКОВОМ УСКОРЯЮЩЕМСЯ ПОТОКЕ ГАЗА**

РЯБИНИН Д.В., АО «Казанское ОКБ «СОЮЗ»», г. Казань  
Науч. рук. д-р техн. наук, проф. МИХЕЕВ Н.И.

В промышленной теплоэнергетике часто в качестве рабочего тела применяется двухфазная смесь газа и конденсированных частиц. Основной составляющей конденсированной фазы могут являться как твёрдые частицы, так и различные жидкости – от воды до жидких металлов. При некотором сочетании геометрических характеристик и параметров в трубах тепловых аппаратов создаются условия, при которых на определённой дистанции до сужения проточной части большее количество конденсата может осаждаться на стенку. После попадания на поверхность жидкость продолжает двигаться, подгоняемая потоком газа. В конечном итоге в области перед сужением образуется пленка жидкости – своего рода «лужа». После достижения критической высоты жидкость начинает всасываться в сужение, из-за чего его эффективное сечение уменьшается. В свою очередь, это приводит к увеличению давления в канале и росту его градиента, в результате чего становится возможным всасывание с более низких областей. Данный процесс продолжается до тех пор, пока всасывание не станет невозможным с текущего уровня «лужи». После этого опять начинается постепенное ее наполнение до уровня  $H$ . Данный процесс может приводить к появлению периодических «всплесков» давления в канале.

На экспериментальной установке было проведено исследование особенностей взаимодействия между фазами газожидкостного потока в канале. В качестве рабочей среды использовалась смесь воды и воздуха при нормальных условиях. Для исследований картины течений применялись рабочие участки с прозрачными стенками. Получены расходные характеристики жидкой пленки в канале при различных перепадах давления. Проведено сопоставление экспериментальных данных и теоретических оценок.

По результатам теоретических и экспериментальных исследований выработаны рекомендации по снижению уровня нестационарности процессов при движении жидкой пленки в дозвуковом ускоряющемся потоке газа. Предложено в канале с жидкой пленкой на стенке в области сужения сечения (ускорения дозвукового потока) организовать специальный канал для быстрой откачки жидкости и тем самым стабилизировать расходные характеристики компонентов смеси.

УДК 658.264

## **АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДА МАМАДЫШ**

САЛАХОВА Э.З., КГЭУ, г. Казань

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

В работе рассматривается система теплоснабжения города Мамадыш и планы по её развитию. Работа является актуальной, поскольку при централизованном теплоснабжении значительного числа потребителей возникают вопросы об области применения данного вида теплоснабжения на базе рассматриваемого источника и о выборе показателей эффективности, определяющих его централизацию на всей территории города.

В основу исследования положена теория оптимизации, целью которой является получение наилучших показателей эффективности теплоснабжения и минимизация расхода финансов при использовании централизованного или децентрализованного теплоснабжения. Разработанные теоретические основы позволяют обосновывать достижение целевых показателей.

К задачам исследования относятся:

1. Поиск и анализ существующих методик для определения максимальной дальности передачи тепловой энергии от источников централизованного теплоснабжения.

2. Сравнительная оценка централизованного и децентрализованного теплоснабжения по показателям структуры себестоимости тепловой энергии. Разработка методики расчета радиуса эффективного теплоснабжения с точки зрения себестоимости тепловой энергии.

3. Сравнительная оценка централизованного и децентрализованного теплоснабжения по показателям капитальных затрат на обеспечение потребителей тепловой энергией. Разработка методики расчета радиуса

эффективного теплоснабжения с точки зрения капитальных затрат на подключение.

4. Разработка методики расчета результирующего радиуса эффективного теплоснабжения.

УДК 697.9: 628.87

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ «ДИНАМИЧЕСКОГО МИКРОКЛИМАТА»**

САФРОНОВ А.С., ИГЭУ, г. Иваново

Науч. рук. канд. техн. наук, проф. ПЫЖОВ В.К.

Поддержание требуемых параметров воздуха при сохранении здоровья и высокой работоспособности возможно только с использованием систем кондиционирования воздуха.

Однако в помещениях, где рабочий персонал осуществляет монотонную работу, связанную с высокой нервно-эмоциональной нагрузкой (например, управление сложными технологическими процессами, нарушение которых может привести к непоправимым последствиям), происходит быстрое утомление и снижение внимания. Данную проблему можно решить, используя системы «динамического микроклимата». Эти системы, создающие автоколебания параметров воздуха по амплитуде и частоте, позволяют человеку пребывать в состоянии высокой работоспособности и комфорта. Системы «динамического микроклимата» применения в настоящее время пока не нашли.

Целью данной работы является определение всех требований к математической модели создания «динамического микроклимата», составу и режимам работы всех элементов и систем. Важен обзор существующих разработок в области исследования, их анализ, создание системы уравнений, учитывающей динамические процессы во всех элементах (ограждающих конструкциях, воздушной среде внутри и снаружи помещения, элементах системы кондиционирования, поддерживающих принятый динамический режим изменения параметров воздуха).

Для оценки адекватности математической модели предусматривается тестирование каждого уравнения в отдельности с помощью численного и физического эксперимента и реализация на примере полномасштабной

электронной модели блочного щита управления (БЩУ) атомной электростанции (АЭС), установленного в ИГЭУ.

В настоящее время проводится тестирование уравнений математической модели, описывающих динамические процессы в ограждающих конструкциях и при организации воздухообмена, с использованием программного комплекса Comsol Multiphysics.

УДК 534.64

## **РАЗРАБОТКА ГЛУШИТЕЛЯ – НЕЙТРАЛИЗАТОРА ШУМА МАЛОМОЩНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ**

ТЕЛЯШОВ Д.А., СУХОВАЯ Е.А., ЯГОФАРОВ О.Х.,  
КНИТУ-КАИ, г. Казань

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. ПАВЛОВ Г.И.

В настоящее время существует проблема шумоглушения и нейтрализации вредных веществ выхлопных газов. Неблагоприятное воздействие шума в той или иной степени ощущает на себе каждый второй человек. Шум отрицательно влияет на здоровье человека. По этой причине было принято, что создание энергетических установок с пониженным уровнем шума и наименьшим выбросом вредных веществ представляет глобально-техническое решение проблемы. В настоящее время она решается при помощи использования эффективных глушителей, каталитических вставок, перфорированных трубок и фильтров в глушителях. В данной работе предложен новый глушитель-нейтрализатор.

Проведены аналитические и программные расчеты глушителя-нейтрализатора. Экспериментально определены акустические и газодинамические характеристики штатного и нового глушителей-нейтрализаторов. Для разработанного глушителя-нейтрализатора получен наиболее высокий эффект шумоглушения по сравнению со штатным глушителем.

Псевдокипящий слой способствует уменьшению шума в широком диапазоне частот. Из картины спектров акустического сигнала можно выявить «энергонесущие» частоты, амплитуды которых необходимо уменьшать. Измеренное противодавление показало наименьшее значение по сравнению со штатным глушителем.

УДК 534.64

**МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ ШУМА КАМЕРЫ ПУЛЬСИРУЮЩЕГО  
ГОРЕНИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМОЙ В СОСТАВЕ ДВИГАТЕЛЯ  
ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ С ВНЕШНИМ ПОДВОДОМ ТЕПЛА**

ТЕЛЯШОВ Д.А., СУХОВАЯ Е.А., ЯГОФАРОВ О.Х.,  
КНИТУ-КАИ, г. Казань

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. ПАВЛОВ Г.И.

В настоящее время существует проблема неблагоприятного воздействия шума энергосиловых установок на организм человека и окружающий мир в целом. В связи с этим, создаются энергосиловые установки с пониженным уровнем шума. В данном исследовании объектом является камера пульсирующего горения (КПГ). Уровень шума при работе данной камеры высокий, поэтому стоит задача снизить его.

Снижение шума при помощи модификации в самой КПГ приведет к тому, что камера не будет работоспособной, так как у неё имеется одна рабочая частота, в отличие от того же двигателя внутреннего сгорания (ДВС), поэтому единственным способом снизить шум является установка глушителя на конце сопла (выхлопной системы) камеры. В настоящее время применяют глушители шума различных типов. Существуют реактивные, активные и комбинированные глушители. Стоит отметить, что большинство глушителей разрабатывают для снижения широкого диапазона частот.

При разработке глушителей практически каждый изобретатель опирается на законы волновой физики. Порой это является ошибкой, потому что в любых тепловых двигателях образуются ударные волны. Исходя из этого, стоит задача разработать глушитель шума и акустический клапан для КПГ.

УДК 661.2:621.18

## МЕТОДИКА ВЫБОРА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО ВАРИАНТА ПРОМЫШЛЕННОЙ СИСТЕМЫ РЕКУПЕРАЦИИ ВТОРИЧНОЙ ЭНЕРГИИ

ФАЗДАЛОВА А.И., КАШИПОВА Л.А., КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. канд. техн. наук, доц. ПЛОТНИКОВА Л.В.

Промышленные предприятия являются крупными потребителями энергетических ресурсов. Перспективным направлением повышения энергоэффективности таких предприятий с целью рационализации использования ресурсов является организация систем рекуперации вторичной энергии. Для подбора наиболее энергоэффективной системы рекуперации следует применять актуальные методики анализа. Такими методиками являются анализ структурной организации исходных производств, располагающих вторичными энергоресурсами, и организованных систем рекуперации, а также анализ тепловой и эксергетической эффективности.

Существующая на настоящий момент методика организации систем рекуперации вторичной энергии для технологических схем производств позволяет выбирать один вариант модернизации схемы с учетом определенных критериев – значений КПД элементов исходной схемы, величин теплоты  $Q$  и эксергии  $E$  потоков, не находящих применение в исходной схеме, и значений коэффициента соотношения  $K = E/Q$ . Однако данные критерии неоднозначны, так как сложно определить, использовать ли в качестве утилизируемого поток с большими  $Q$  и  $E$  или с большим  $K = E/Q$ . Таким образом, важно учесть соотношение планируемых к утилизации потоков с возможностью их «принятия» в «слабом месте» в имеющемся количестве  $G$ . Обычно выбранный по приведенным критериям поток вторичных энергетических ресурсов (ВЭР) направляется для утилизации в аппарат с наименьшим КПД. Данный подход не гарантирует, что выбран наиболее энергоэффективный вариант. Это обусловлено тем, что при выборе «места» утилизации не учитываются «характер» утилизации, соотношение КПД участка исходной схемы – потребителя вторичной энергии, а также КПД установки утилизации. Так нельзя однозначно сказать, что эффективным является вариант утилизации на участке с наименьшей энергоэффективностью.

Использование методики структурного анализа при проведении термодинамических расчетов исходной системы и системы рекуперации вторичной энергии позволит осуществлять быстрый поиск оптимального

варианта последней, а также на основе получаемых данных о взаимозависимостях параметров вторичной энергии и КПД системы произвести уточнение критериев выбора варианта системы рекуперации.

УДК 681.3:621.311

## РАСЧЕТ МОДАЛЬНОГО АНАЛИЗА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

ФАЗУЛЛИН Д.Р., КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. асс. ГАПОНЕНКО С.О.

Резонанс является одним из опаснейших явлений в технике. Возможность узнать состав собственных частот конструкции позволит избежать появления резонанса, обеспечив высокую надежность конструкции и длительный срок службы. Для решения данной задачи в ANSYS Mechanical реализована возможность проведения модального анализа – анализа собственных частот и форм колебаний конструкций. Это важнейшие динамические характеристики каждой механической системы, и именно с их определения начинается любой динамический расчет конструкций.

Для проведения модального анализа был разработан 3D проект экспериментальной установки для определения расположения скрытых трубопроводов с использованием программного продукта Autodesk Inventor (рис. 1).

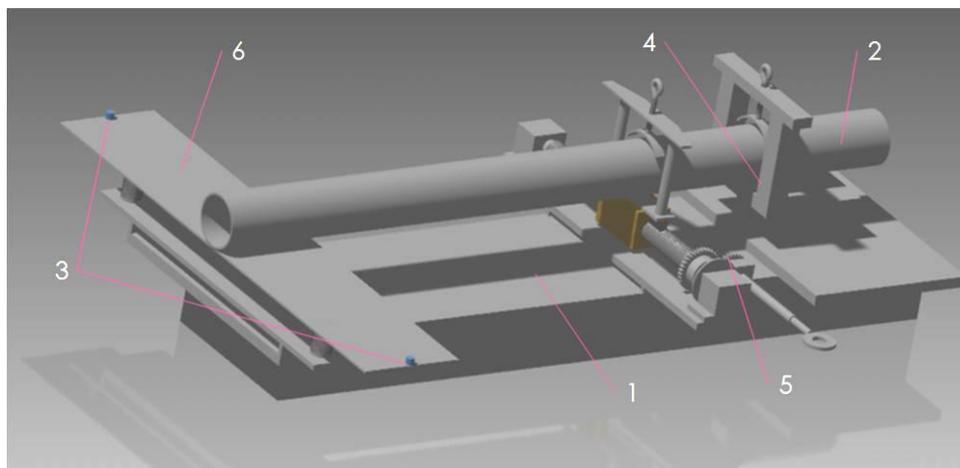


Рис. 1. Установка для определения расположения скрытых трубопроводов: 1 – основание; 2 – исследуемый трубопровод; 3 – чувствительные элементы (пьезоэлектрические датчики); 4 – шарнирное крепление исследуемого трубопровода к основанию; 5 – механизм поворота исследуемого трубопровода; 6 – упругая пластина

Результаты расчетов в программе «ANSYS»: 1 форма – 1487,7 Гц; 2 форма – 3826,2 Гц; 3 форма – 5871 Гц; 4 форма – 6943,1 Гц; 5 форма – 7054,1 Гц; 6 форма – 7209,7 Гц; 7 форма – 7609 Гц; 8 форма – 8369,4 Гц; 9 форма – 9548,7 Гц.

УДК 621.59: 661.93

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИСПАРЕНИЯ КАПЛИ ОХЛАЖДАЮЩЕГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В ПОТОКЕ СЖАТОГО ГАЗА**

ХАСАНОВА Р.В., ДЕМИН Ю.К., МГТУ им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск  
Науч. рук. канд. техн. наук, доц. НЕШПОРЕНКО Е.Г.

До 90 % затрачиваемой энергии на производство продуктов разделения воздуха приходится на сжатие воздуха, кислорода и азота. В целях экономии энергии применяется промежуточное охлаждение между ступенями компрессора. При этом имеет место недоохлаждение газа в охладителях, достигающее 20–40 °С, основной причиной которого является наличие разделяющей стенки между газом и охлаждающим теплоносителем.

В данной работе предлагается частично заменить теплообмен через поверхность газоохладителей на объемный теплообмен – путем впрыска охлаждающего теплоносителя в поток сжатого газа. При сжатии воздуха возможен впрыск жидких кислорода или азота, при сжатии азота – жидкий азот, кислорода – жидкий кислород.

Так как при реализации объемного охлаждения может возникнуть опасность эрозийного износа лопаток ступени сжатия, была разработана математическая модель испарения капли с целью определения его времени. Для этого было принято, что капля в течение некоторого промежутка времени уменьшается в диаметре на величину  $\delta = 0,01$  мм. Так, при диаметре капли  $d = 0,2$  мм, степени сжатия  $x = 1,5$  и недоохлаждении  $\Delta T = 20$  К время испарения капли составило: воздух –  $O_2^{\text{ж}}$  – 0,058 с; воздух –  $NO_2^{\text{ж}}$  – 0,01027 с;  $O_2$  –  $O_2^{\text{ж}}$  – 0,0588 с;  $N_2$  –  $N_2^{\text{ж}}$  – 0,0357 с. Таким образом, при впрыске азота капля испаряется быстрее, так как азот, по сравнению с кислородом, имеет меньшую плотность и теплоту парообразования при том же давлении.

УДК 621.4

## **ПРИМЕНЕНИЕ ДВИГАТЕЛЯ СТИРЛИНГА В БЛИЖНЕМ КОСМОСЕ И МЕХАНИЗМ АККУМУЛЯЦИИ ЭНЕРГИИ ВРАЩЕНИЯ**

ХАФИЗОВ Р.Г., КГЭУ, г. Казань

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

В данной работе рассмотрено применение двигателя Стирлинга для создания искусственной гравитации на космической станции и механизма аккумуляции энергии для поддержания требуемых параметров вращения в отсутствие подводимой тепловой энергии от Солнца.

Описана модель станции, приводимой в движение с помощью блока двигателей Стирлинга, посредством привода, состоящего из конической зубчатой передачи. Рассматриваются основные принципы работы системы «блок двигателя – станция», а также работа самого механизма передачи.

Особое внимание уделяется механизму, который позволил бы накапливать и запасать энергию для нормального функционирования данной системы в отсутствие подводимой энергии Солнца, например, когда аппарат находится в теневой области солнечного излучения.

Кроме того, более подробно описываются преимущества предложенного механизма передачи механической энергии от блока двигателя Стирлинга, в частности от нескольких цилиндров, на вал, вращающий станцию.

Таким образом, изучается вопрос об организации бесперебойной работы данной системы. Это позволило бы обеспечить постоянную искусственную гравитацию на космической станции и избежать частых режимов пуска и останова системы, которые являются нестабильными и создают неблагоприятные условия для нормальной работы станции, вплоть до выхода системы на нормальный режим функционирования.

УДК 665.6.035.6

## **ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РЕЖИМ РАБОТЫ С УЧЕТОМ ОСОБЕННОСТЕЙ РЕОЛОГИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ ВЫСОКОВЯЗКИХ НЕФТЕЙ**

ХУСНУТДИНОВА Э.М., К(П)ФУ, г. Казань  
Науч. рук. д-р техн. наук, проф. КОНАХИНА И.А.

За последнее десятилетие в структуре российских запасов существенно возросла доля трудноизвлекаемых, невозобновляемых, в том числе тяжелых, высоковязких нефтей.

Геологические запасы высоковязкой нефти в России составляют от 6 до 75 млрд тонн, однако их применение требует использования специальных дорогостоящих технологий, так как они сложны в переработке, из-за высокой вязкости плохо протекают в скважине. Высоковязкие нефти на рынке стоят дешево, относятся к категории низкосортных, и особой охоты за ними с целью получения больших прибылей пока нет, поэтому не многие российские компании готовы вкладывать значительные средства в разработку месторождений и переработку таких нефтей.

Существуют различные способы добычи залежей высоковязкой нефти, которые различаются технологическими и экономическими характеристиками. Применимость той или иной технологии разработки обуславливается геологическим строением и условиями залегания пластов, физико-химическими свойствами пластового флюида, состоянием и запасами углеводородного сырья и климатогеографическими условиями.

Одним из методов добычи является совершенствование конструкций и гидравлических режимов работы промысловых и магистральных трубопроводов за счет использования особенностей реологического поведения парафинистых нефтей в условиях деформирующего воздействия на поток. Данное воздействие способствует интенсивному снижению эффективной вязкости рабочего потока нефти и уменьшению гидравлического сопротивления транспортирующего трубопровода или рабочих каналов термических установок подогрева нефти. В качестве устройств, оказывающих деформирующее воздействие, рассматриваются вставки винтовой формы (воздействуют на все поперечное сечение трубы), а также регулярная дискретная шероховатость труб с округлым винтообразным профилем.

Несмотря на то что данная задача имеет важное технологическое значение, исследований в данной области проведено недостаточно, и представленная работа направлена на решение обозначенной проблемы.

УДК 693.547

## **ПРОБЛЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЗДАНИЙ**

ШЕВЧУК М.С., МАКСИМОВ И.В., СамГТУ, г. Самара  
Науч. рук. канд. техн. наук, доц. БАКРУНОВА Т.С.

Энергоэффективность представляет собой рациональное использование энергетического потенциала; способ минимизации количества потребляемой энергии на производстве при одновременном сохранении прежнего уровня технологического процесса; обеспечение экономически обоснованной эффективности расходования топливно-энергетических ресурсов при определенной высокой ступени развития современных технологий. Обобщая, можно сказать, что энергоэффективность – целая научная отрасль, находящаяся на рубеже инженерных, экономических, юридических, а также социологических знаний.

Следует отметить, что потребление/потери энергоресурсов принято измерять при помощи показателя энергоэффективности.

Маркировка энергии делится на следующие 4 категории:

- 1) детали прибора – исходя из определенных деталей прибора, его модели и материалов изготовления;
- 2) класс энергоэффективности – цветовая кодификация на основе буквенного обозначения (от *A* до *G*), соответственно, от зеленого к желтому, до ярко-красного;
- 3) потребление, способность эффективность, и т.п. – данная категория информирует о типе прибора;
- 4) шум – уровень шума (в дБ), испускаемый прибором.

В конечном счете, для потребителей энергоэффективного оборудования происходит существенное сокращение расходов на коммунальные услуги; для государства – экономия бюджета и увеличение производительности труда; для экологии – уменьшение отрицательного воздействия парникового эффекта; для энергокомпаний – сокращение издержек, снижение производственной себестоимости.

УДК 550.822.1

## **ИНЖЕНЕРНАЯ ГИДРОГЕОЛОГИЯ. БУРЕНИЕ СКВАЖИН**

ШИПЕЕВА А.С., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. асс. ГАПОНЕНКО С.О.

Целью работы является определение мест бурения скважин для добычи подземных вод, принципа подбора бурения в зависимости от грунта и выбора материала труб.

Поиск места для бурения скважин осуществляется с помощью разведочного бурения. Оно позволяет с высокой точностью определить наличие залегающих на большой глубине подземных вод. На основании качественного состава поверхностного среза глубиной до 10 метров гидрогеологи строят предположения относительно строения почвы и расположения водоносного слоя. Кроме того, разведочное бурение по составу грунта предоставляет возможность заранее проектировать глубину скважины и используемые инструменты. В разведочное бурение входят: применение рамок, гидрографическая карта, помощь растений, использование силикагеля и множество других.

Особое внимание уделяется пяти методам: ударный, шнековый, роторный, реактивно-турбинный и колонковый. Их применение аргументируется в зависимости от типа грунта.

Главным условием при бурении скважин является защита стенок скважины от разрушения и сохранность воды максимально чистой. Для осуществления поставленных целей используют трубы, каждая из которых выполняет свою задачу. По назначению трубы для скважины бывают: обсадные и эксплуатационные. Рассматриваются их технология установки и критерии выбора труб.

Немалую роль играет материал труб на скважину. Рынок строительных материалов буквально переполнен различным ассортиментом труб. Многие варианты подходят для оформления автономных систем водозабора. Например, чтобы изготовить трубы для скважин, производители используют такие материалы: пластик, сталь, асбоцемент.

УДК 536.7

## ПРИМЕНЕНИЕ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

ЯМАЛЕТДИНОВ А.А., АГНИ, г. Альметьевск  
Науч. рук. канд. техн. наук, доц. ВАХИТОВА Р.И.;  
д-р техн. наук, доц. КИЯМОВ И.К.

Россия выбрала курс на широкое внедрение ресурсо- и энергосберегающих технологий, которым присвоен статус приоритетных.

Совершенствование преобразующих энергию агрегатов имеет свой теоретический предел. Даже если создать идеальный агрегат, в котором будут отсутствовать потери тепла через стенки, то он все равно не в состоянии преобразовать всю энергию топлива в полезную работу.

Во всех случаях ограничение на эффективность использования топлива накладывает второе начало термодинамики, согласно которому коэффициент полезного действия любой термодинамической системы не может быть выше некоторого теоретического значения, определяемого типом термодинамического процесса. Этот постулат напрямую связан с энтропией, изменение которой в любом самопроизвольном процессе не может быть отрицательным. Если бы данный постулат можно было нарушить, появилась бы возможность создания вечного двигателя, который позволял бы получать энергию непосредственно из окружающей среды.

Квантовая полирезонансная активация (КПРА) – это принцип, позволяющий управлять энтропией на молекулярном уровне. Основным условием возникновения КПРА является энергетическое соответствие. При этом, сколько энергии поглощается, вызывая КПРА, столько и высвобождается. Применение принципа КПРА заключается в введении необходимого количества наноактиватора в топливо.

Для жидко-топливных электростанций применение активаторов мазута дает снижение удельного расхода топлива на 15 %.

Для газовых и угольных электростанций применение водных растворов наноактиватора позволяет снизить использование топлива на 5–7 % при расходе наноактиватора около 0,5 г/т угля или 1 тыс. м<sup>3</sup> природного газа.

Сегодня различные наноактиваторы производятся в США – eeFuel, а в России – продукт ХАЛФРИД («Химический концерн Халфрид», г. Москва).

Таким образом, можно сказать, что применение наноактивных частиц может дать хороший экономический эффект.

УДК 536.7

## **ЖИДКАЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИЯ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ**

ЯХИНА Л.Т., АГНИ, г. Альметьевск

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. ВАХИТОВА Р.И.

Вопросы по качеству теплоизоляции трубопроводов на сегодняшний день остаются достаточно актуальными. Для решения данной проблемы предлагается жидкая теплоизоляция, представляющая собой сверхтонкое энергосберегающее покрытие. Ею покрывают трубопроводы и котлы, кровли, фундамент, стены и фасады, цистерны, холодильники.

Весь секрет жидкой теплоизоляции заключается в её основе – текучая композиция из синтетического каучука, акриловых полимеров, оксидов металлов и неорганических пигментов, внутри которой в определенном порядке «плавают» вакуумные керамические микросферы и полые силиконовые шарики (нанотехнологии), делающие материал легким, гибким, растяжимым, обладающим хорошей адгезией к покрываемым поверхностям.

Жидкая теплоизоляция, 1 мм которой сравним по эффективности с 50 мм пенополистирола, минеральной ваты, либо 30 мм пенополиуретана, – это важное решение в области энергосбережения. Сверхтонкая изоляция обладает минимальной теплоотдачей, теплопроводностью и теплоусвоением.

Жидкая керамическая изоляция обладает адгезионными свойствами практически ко всем материалам. Ее неоспоримыми преимуществами являются легкость монтажа, противостояние температурным колебаниям (эластичность), атмосферным воздействиям, адекватная цена, безопасность.

Жидкая теплоизоляция была испытана разнообразными методами, в итоге было доказано, что средний эксплуатационный срок несколько превышает 20 лет. Но тестирование проводилось при постоянной эксплуатационной нагрузке, а значит, что в некоторых случаях срок службы может составить около 50 лет.

На кафедре «Промышленная теплоэнергетика» в ГБОУ ВПО «Альметьевский государственный нефтяной институт» ведутся исследования по устройству нанотеплоизоляции тепло- и нефтетрубопроводов. Получен патент на полезную модель № 2014133993/03 от 19.08.2014.

### СЕКЦИЯ 3. ТЕПЛОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

УДК 621

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ТУРБИННЫХ РЕШЕТОК ПАРОВЫХ И ГАЗОВЫХ ТУРБИН

АВЕРИН Н.И., ИГЭУ, г. Иваново

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. ГРИГОРЬЕВ Е.Ю.

Турбина является самым распространенным двигателем для привода генератора электрического тока на тепловых и атомных электрических станциях. Простота и надежность конструкции, большая единичная мощность ставят турбину выше, чем другие двигатели.

Если рассмотреть основное оборудование электростанций, то самый высокий коэффициент полезного действия у генераторов и трансформов 97–98 %, несколько ниже КПД котла 93–96 %, еще ниже экономичность турбины 75–90 %. Таким образом, если бороться за повышение экономичности всей станции необходимо, в первую очередь, совершенствовать турбины.

Основным узлом турбомашин является проточная часть, состоящая из турбинных ступеней, которые, в свою очередь, слагаются из сопловых и рабочих решеток. Здесь как раз и происходит движение пара в случае паровой турбины или горячих газов в газовой турбине, и именно здесь возникают самые большие потери. Эти потери напрямую связаны с аэродинамикой турбинных решеток.

Одним из наиболее эффективных способов снижения концевых потерь, которые являются составляющими в сумме потерь, может быть использование специальных направляющих ребер на ограничивающих стенках сопловых решеток, на хвостовиках и бандажах рабочих лопаток.

Испытания велись на плоском пакете, образованном профилями типа С9012А, установленными с шагом  $t = 45$  мм, межпрофильные каналы использовались с системой оребрения ограничивающих стенок и без них. В рассматриваемом случае была применена система оребрения, где высота ребра возрастала с увеличением толщины пограничного слоя на отсечной пластине.

На первом этапе исследований была испытана турбинная решетка с профилями С9012А высотой  $L/b = 2,5$  при значении числа Маха 0,23.

Полученное распределение значений коэффициентов потерь показывает, что ведение реберной системы препятствует вторичным перетеканиям в пограничных слоях от вогнутой поверхности к спинке соседнего профиля. В результате, кривая распределения потерь по высоте рассматриваемой решетки не имеет характерных изгибов, присущих кривой потерь по высоте стандартной решетки.

Кроме того, применение спрофилированных ребер привело к снижению среднего значения коэффициента потерь для рассматриваемых решеток на 1 % по сравнению с турбинной решеткой без системы оребрения.

УДК 621.311

## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ РЕСПУБЛИКИ ЙЕМЕН, ИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ

АЛИ ЯЗИД С.С., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р хим. наук, проф. ЧИЧИРОВА Н.Д.

Основу существующей объединенной системы составляют 3 крупные тепловые станции (ТЭС) и одна газотурбинная установка (ГТУ), расположенные в городах Al-Hodeidah (две станции), одна в Адене и одна в Мариб. Остальные станции работают на дизельном топливе.

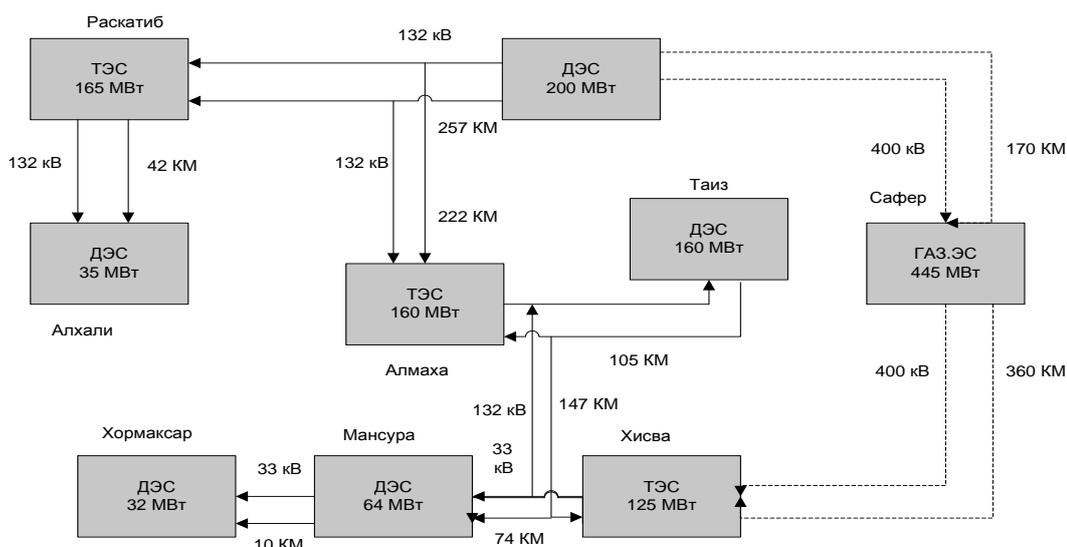


Рис. 1. Схема связей между электростанциями Йемена

До объединения республики энергосистема южного Йемена имела только одну крупную станцию типа ТЭС 5×25 МВт советского производства. Остальные станции – дизельные небольшой мощности. В северной энергосистеме Йемена существовали две ТЭС итальянского производства 5×33 и 4×40 МВт. На рис.1 приведена структурная схема взаимосвязей между электростанциями Йемена.

УДК 621.315.615.2

## **ВЛИЯНИЕ СЕРНИСТЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА ТЕРМИЧЕСКУЮ СТАБИЛЬНОСТЬ ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА**

АХМЕТЗЯНОВА Г.Л., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. ГАЙНУЛЛИНА Л.Р.

Сернистые соединения содержатся во всех нефтях, однако их количество варьируется в широких пределах – от десятых долей процента до 20 % (по весу). Сернистые соединения оказывают существенное влияние на свойства нефтей и определяют технологию их переработки.

В этой связи представляет интерес исследовать влияние сернистых соединений на эксплуатационные свойства трансформаторного масла, в частности на его термическую стабильность.

Исследование проводили в приборе для окисления масел в электрическом поле.

Термостабильность определяли при температуре 130 °С, при напряженности электрического поля 49 кВ/см в течение 44 часов (в соответствии с ГОСТ 981-75). Для приближения состояния трансформаторного масла к состоянию в натуральных условиях в прибор помещали твердые изоляционные материалы и металлические пластинки из меди и железа.

В качестве объектов исследования были использованы трансформаторное масло гидрокрекинга (без ионола) и индивидуальные сернистые соединения, дибензилсульфид и метилфенилсульфид.

Концентрация сернистых соединений в модельных смесях варьировалась в широких пределах – от 0,05 до 1,5 %.

Исследования показали, что при концентрации сернистых соединений в смеси, равной 0,5 %, наблюдается минимальное поглощение кислорода смесью.

При концентрации дибензилсульфида, равной 0,5 % углеводорода модельной смеси, поглощают кислорода на 5,7 % меньше, чем модельная смесь в присутствии 0,5 % метилфенилсульфида.

Для сравнения полученных экспериментальных данных с использованием смесей применяли трансформаторное масло гидрокрекинга.

Изученные индивидуальные сернистые соединения в количестве 0,5 %, введенные в трансформаторное масло, замедляют процесс окисления его углеводородов кислородом, что говорит об их ингибирующих свойствах.

УДК 621.311.22

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ПРИЗЕМНЫЕ КОНЦЕНТРАЦИИ, СОЗДАВАЕМЫЕ ДЫМОВЫМИ ТРУБАМИ НАБЕРЕЖНОЧЕЛНИНСКОЙ ТЭЦ**

АХОНОВА Д.Г., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, проф. ГРИБКОВ А.М.

Для наблюдения за текущим состоянием пограничного слоя атмосферы с целью оценки его рассеивающей способности на дымовой трубе № 1 Набережночелнинской ТЭЦ установлено по 4 датчика ветра АСЦ-3 (1,8–32 м/с) и по 4 датчика температуры КТД-50 ( $\pm 50$  °С) на высоте 65, 95, 155 и 215 м. В помещении в дымовой трубе установлены первичные приборы, показывающие скорость ветра.

Показания с метеорологических датчиков по кабелю передаются на контроллер, установленный в главном корпусе станции, который формирует файлы исходных данных. Данные с датчиков скорости ветра с площадок дымовой трубы поступают в виде таблиц. Мы получили показания со станции, которые были измерены в системе контроля атмосферы и газов (СКАГ), и произвели расчет для получения приземных концентраций. Полученные результаты сравниваются с общесоюзным нормативным документом (ОНД-86). Производится расчет по ОНД-86 с исходными данными СКАГ. Нами выполнен расчет только для одного класса устойчивости – 2 класс (умеренная неустойчивость).

Выбираются: скорость ветра; суммарный выброс окислов азота; параметр Будыко; максимальную концентрацию за каждый час из данных СКАГ. Для анализа влияния скорости ветра и параметра Б делается сортировка исходных данных.

После все данные записываются в таблицу и строятся графики.

Сравнив графики между собой, можно увидеть, что, чем меньше параметр Б, тем больше разброс точек и максимальная концентрация возрастает; если параметр Б растет, то максимальные концентрации понижаются и их разброс уменьшается. При увеличении скорости ветра параметр Б быстро стремится к нулю независимо от его знака и состояние атмосферы приближается к безразличному.

УДК 621.181

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДИКИ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПАРА ТРЕХКОНТУРНЫХ ПАРОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК**

БАЛАКАЕВ Р.Р., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. НИЗАМОВА А.Ш.

В настоящее время электроэнергию в России в основном получают на тепловых электростанциях, использующих паротурбинное оборудование с КПД производства электроэнергии порядка 40 %, что не эффективно. Перспективное направление технического перевооружения отечественных ТЭЦ связано с внедрением парогазовых установок (ПГУ). При этом в новых блоках ПГУ-400 с тремя контурами давления пара информация по обоснованию оптимальных параметров крайне ограничена.

Как правило, ПГУ из-за высокой экономичности проектируются для эксплуатации с базовыми нагрузками и для использования их в режимах регулирования графиков электрической нагрузки энергосистем, что в настоящее время является обязательным для всех типов электростанций, поэтому требуются дополнительные исследования и доработки. Дело в том, что при работе ПГУ на пониженных нагрузках в пределах регулировочного диапазона электрической нагрузки имеет место ряд ограничений по факторам надежности, экономичности и экологии.

Поэтому целью данного исследования будет разработка метода выбора оптимальных параметров пара трехконтурной ПГУ, позволяющей выбирать определенные показатели тепловой схемы (давление и температура пара высокого давления, давление и температура пара горячего промперегрева и т.д.) при оптимальных поверхностях нагрева котла-утилизатора, оптимальных диаметрах трубопроводов острого пара,

пара горячего и холодного промперегрева, выбранной паровой турбины с оптимальным выхлопным сечением цилиндров низкого давления (ЦНД) и различными режимами эксплуатации ПГУ.

УДК 621.187

## **ПРОБЛЕМЫ НОРМИРОВАНИЯ И КОНТРОЛЯ ВОДНО-ХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА КОТЛОВ-УТИЛИЗАТОРОВ ПАРОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК**

БУДАЕВА А.Ю., ИГЭУ, г. Иваново  
Науч. рук. д-р техн. наук, доц. БУШУЕВ Е.Н.

При проектировании и пуско-наладочных работах систем ведения водно-химического режима (ВХР) котлов-утилизаторов (КУ) парогазовых установок (ПГУ) учитываются требования их заводов-изготовителей и нормативных документов, обеспечивается необходимая и достаточная полнота нормирования химических параметров качества вод, паров и конденсатов для КУ и пароводяных трактов (ПВТ) ПГУ, проводится согласование нормативов качества и метрологических характеристик количественных химических анализов.

К нормируемым химическим параметрам относят параметры, определяющие интенсивность негативных и (или) позитивных физико-химических процессов в ПВТ. В качестве примера можно указать на нормирование массовой концентрации хлоридов в питательной (не более 3 мкг/дм<sup>3</sup>) и котловой (не более 1200 мкг/дм<sup>3</sup> при фосфатировании или обработке гидроксидом натрия) водах КУ. При «аминосодержащем» ВХР массовая концентрация хлоридов в котловой воде КУ не нормируется. Разумным решением является переход к определению хлоридов в котловой воде, хотя и в этом случае следует доказать его необходимость, так как экономайзеры и испарительные контуры КУ изготовлены из перлитных сталей. Сведения о возможности коррозионного растрескивания испарительных змеевиков КУ побуждают к анализу обоснованности нормативных требований.

Автором выполнен анализ данных эксплуатационного контроля за ВХР на КУ ряда ПГУ, на основе которого сформулированы рекомендации по установлению нормативов качества теплоносителей двух и трёхконтурных КУ с каскадной непрерывной продувкой и составлению карт по ведению ВХР. Данные рекомендации использованы при проведении пуско-наладочных работ на ряде отечественных ТЭС.

УДК 621.311

**ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ОСВЕТИТЕЛЯ ВТИ-63И  
УСТАНОВКИ РЕГЕНЕРАЦИИ ИЗВЕСТИ ПО ОЧИСТКЕ  
МИНЕРАЛИЗОВАННЫХ СТОЧНЫХ ВОД ХИМИЧЕСКИХ ЦЕХОВ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ШЛАМА ХИМИЧЕСКОЙ ВОДООЧИСТКИ  
С ДРУГИМИ РЕАГЕНТАМИ НА НИЖНЕКАМСКОЙ ТЭЦ (ПТК-1)**

ВЛАСОВА А.Ю., МАМЛЕЕВА А.Р., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р хим. наук, проф. ЧИЧИРОВА Н.Д.;

д-р хим. наук, проф. ЧИЧИРОВ А.А.

Согласно Федеральному закону от 21.07.2014 г. № 219-ФЗ (ред. от 29.12.2014 г.) «О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» и отдельные законодательные акты РФ», тепловые электрические станции включены в объекты I категории, которые оказывают значительное негативное воздействие на окружающую среду и относятся к областям применения наилучших доступных технологий.

В данной работе выполнены действия по:

- снижению фактической концентрации сульфатов минерализованных сточных вод в сбросных водах химических цехов НК ТЭЦ (ПТК-1);
- подбору реагентов для работы осветлителя ВТИ-63И в режиме очистки минерализованных сточных вод химических цехов с использованием шлама химической водоочистки (ХВО) и извести;
- подбору дозы реагентов для работы осветлителя ВТИ-63И;
- определению необходимого количества шлама ХВО (шлама и извести);
- наладке режима работы осветлителя с использованием шлама ХВО и извести совместно с другими реагентами;
- анализу работы осветлителя с дозированием реагентов;
- определению качества очищенной воды после осветлителя ВТИ-63И и сточных вод ТЭЦ;
- подбору наиболее оптимальной дозы реагентов;
- разработке графиков химического контроля (приборов и методов химического контроля), режимной карты работы осветлителя ВТИ-63И при вводе реагентов.

Исследование выполнено в рамках реализации базовой части государственного задания Минобрнауки РФ высшим учебным заведениям (соглашение 2014/448 от 13.03.2014 г., код проекта № 3029).

УДК 621.039

## **ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ КАЛЬЦИЕВОГО И МАГНИЕВОГО НАКИПЕОБРАЗОВАНИЯ В КОНДЕНСАТОРАХ ТУРБОУСТАНОВОК ТЕПЛОЭЛЕКТРОЦЕНТРАЛИ**

ГАБДУЛЛИНА А.Р., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. ШАГИЕВ Н.Г.

Поддержание необходимого вакуума в конденсаторах теплофикационных турбоустановок требует, прежде всего, чистоты рабочих поверхностей трубок теплообменной поверхности. От этого зависит коэффициент теплопередачи и, следовательно, разность между температурами охлаждающей воды и температурой конденсирующегося пара.

С точки зрения оптимизации теплообменных процессов в конденсаторах наибольшую опасность представляют малотеплопроводные накипи, образующиеся при наличии в охлаждающей воде соединений кальция и магния.

При использовании оборотных систем технического водоснабжения с градирнями целесообразно предпринять меры по предотвращению кальциевого и магниевого накипеобразования путём стабилизационной обработки охлаждающей воды конденсаторов.

Одними из перспективных реагентов для выполнения этой задачи считаются комплексообразующие вещества фосфорорганического ряда. Фосфорсодержащие комплексоны, в частности оксиэтилидендифосфоновая кислота (ОЭДФ), способны существенно замедлить выпадение отложений солей жёсткости на теплообменных поверхностях конденсаторов.

Для определения оптимальных условий дозировки реагентов целесообразно использовать термодинамические методы анализа равновесных процессов в водной среде. Они позволяют установить ионный состав многокомпонентного раствора, величину рН среды, а также интервалы рН термодинамической устойчивости комплексных соединений с катионами металлов.

В настоящей работе проведён расчётный термодинамический анализ процессов в системе «ОЭДФ – Н<sub>2</sub>О», определены зависимости величины водородного показателя среды при различных дозировках комплексона и его натриевых солей с той или иной степенью замещения по натрию.

УДК 62-176.2

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОВОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ ЗА СЧЕТ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОВЫХ ОТХОДОВ**

ГАФУРОВ А.М., КГЭУ; ГАФУРОВ Н.М., КНИТУ, г. Казань

Наибольшую долю сбросной теплоты составляют промышленные отходы с температурой ниже  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ , что затрудняет их использование. Это обстоятельство зачастую крайне неблагоприятно воздействует на окружающую среду, загрязняя ее и приводя к изменениям климата. Кроме того, стоимость выброшенной энергии, в конечном счете, закладывается в себестоимость продукции.

Проанализирован имеющийся потенциал по утилизации низкопотенциальной теплоты на тепловых электрических станциях (ТЭС). Выявлено, что основная доля тепловых сбросов на ТЭС приходится на системы конденсации отработавшего в турбине пара, где температура составляет ниже  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Подобно тому, как на тепловых электрических станциях отработавший в турбине пар является прямым источником низкопотенциальной теплоты с температурой ниже  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ , окружающая среда – прямой источник холода с температурой до  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Термодинамическая система теплового двигателя на низкокипящих рабочих телах может производить работу только при отсутствии равновесия между ее термодинамической системой и окружающей средой. При этом фактическая работа теплового двигателя, отдаваемая потребителю, сопоставляется с максимальным количеством работы, которую можно получить от термодинамической системы за счет ее внутренней энергии и подведенной к ней первичной тепловой энергии. Поэтому минимально допустимый температурный перепад, обеспечивающий полезную выработку электроэнергии тепловым двигателем на низкокипящих рабочих телах, может составлять  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  при использовании в качестве источника холода водных ресурсов окружающей среды и  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  при применении источника холода воздушных ресурсов окружающей среды.

УДК 621.311

**ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОДЕИОНИЗАЦИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ**

ГИЛЬФАНОВ Б.А., РАЗАКОВА Р.И., ПРОСВИРНИНА Д.В.,

КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. асс. ВЛАСОВ С.М.

Технология электродеионизации разрабатывалась большим количеством исследователей во многих странах. Первые публикации относятся к началу 1955 г., а в 2002 г. уже более 2000 систем производительностью до  $600 \text{ м}^3/\text{час}$  находятся в промышленной эксплуатации. Современная технология электродеионизации позволяет получать ультрачистую воду с удельным сопротивлением до  $18,2 \text{ МОм/см}$  в непрерывном режиме с максимально возможной конверсией и минимально возможным расходом химреагентов.

Основное технологическое отличие заключается в том, что в процессе электродеионизации ионообменные смолы регенерируются в непрерывном режиме электрохимически, посредством постоянного электрического тока, в то время как при ионном обмене регенерация выполняется периодически с использованием химреагентов.

Эффективность работы электродеионизационного модуля определяется двумя рабочими режимами: скоростью переноса ионов в поперечном сечении слоя и непрерывной электрорегенерацией ионита. Смещение от оптимума этих режимов может привести к образованию солевого осадка на поверхности зерен ионита.

В настоящее время данный метод получил развитие как эффективный и прогрессивный в технологии очистки воды. Установки достаточно компактны, высокопроизводительны, процессы управления и эксплуатации сравнительно просто автоматизируются. Кроме того, при правильном сочетании с другими способами этот метод позволяет успешно очищать сточные воды от ряда примесей различного состава и дисперсности.

Позитивным является и то, что при этом не увеличивается солевой состав очищаемой воды и нередко исключается образование осадков или значительно уменьшается их количество. Все это обеспечивает в ряде случаев существенные преимущества перед традиционными методами водоподготовки и очистки промышленных сточных вод.

Работа выполнена в рамках реализации базовой части государственного задания Минобрнауки РФ высшим учебным заведениям (соглашение 2014/448 от 13.03.2014 г., код проекта № 3029).

УДК 669.15-194.52

## **КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ, ИХ СТРУКТУРЫ И ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА**

ЗАЙНУДИНОВ К.Д., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. хим. наук, доц. ТАТАРИНЦЕВА Т.Б.

Теплоэнергетика – одна из основных составляющих энергетики, включающая в себя производство, транспортировку тепловой энергии. Кроме того, она изучает побочные влияния отрасли на людей и природу, организмы животных.

Развитие теплоэнергетики характеризуется ускорением темпов роста, изменением всех количественных показателей и структуры топливно-энергетического баланса, глобальным охватом всех видов ресурсов органического топлива, вовлечением в сферу использования ядерного горючего.

Конструкционные материалы – материалы, из которых изготавливаются различные конструкции, детали машин, элементы сооружений, воспринимающих силовую нагрузку. Определяющими параметрами таких материалов являются механические свойства, что отличает их от других технических материалов (оптических, изоляционных, смазочных, лакокрасочных, декоративных, абразивных и др.).

К конструкционным материалам относятся параметры сопротивления внешним нагрузкам: прочность, вязкость, надежность, ресурс и др. Длительный период в своём развитии человеческое общество использовало для своих нужд (орудия труда и охоты, утварь, украшения и др.) ограниченный круг материалов: дерево, камень, волокна растительного и животного происхождения, обожжённую глину, стекло, бронзу, железо. Промышленный переворот XVIII в. и дальнейшее развитие техники, особенно создание паровых машин и появление в конце XIX в. двигателей внутреннего сгорания, электрических машин и автомобилей, усложнили и дифференцировали требования к материалам их деталей, которые стали работать при сложных знакопеременных нагрузках, повышенных температурах и др. Основой конструкционных материалов стали металлические сплавы на основе железа (чугуны и стали), меди (бронзы и латуни), свинца и олова.

УДК 621.311.22

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ВОДОПОДГОТОВИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ТЕПЛОВОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ**

ЗАКИРОВ А.О., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р хим. наук, проф. ЧИЧИРОВА Н.Д.

В настоящее время производство обессоленной воды на тепловых электростанциях осуществляется в основном химическими методами, что связано со значительными производственными издержками и вредным воздействием на водоисточники из-за потребления большого количества химреагентов и ионообменных смол, которые с отработанными регенерационными растворами сбрасываются в водоемы. Поэтому задачи удешевления подготовки обессоленной воды и снижения сбросов солей в водоемы для энергосистемы весьма актуальны и своевременны.

В 2010 году на Казанской ТЭЦ-2 введено в эксплуатацию здание химводоочистки с блоками микрофльтрации и обратного осмоса для подготовки частично-обессоленной воды  $100 \text{ м}^3/\text{час}$ . В 2011 году – второй пусковой комплекс блоков микрофльтрации и обратного осмоса для подготовки частично-обессоленной воды  $200 \text{ м}^3/\text{ч}$ , противоточного Н-ОН ионирования на  $300 \text{ м}^3/\text{ч}$  обессоленной воды.

Ввод в эксплуатацию современной химводоочистки на Казанской ТЭЦ-2 позволил:

– сократить объемы хранения опасных веществ (кислота, щелочь), что повысило безопасность производства;

– сократить расход химреагентов на очистку воды (расход серной кислоты снизился в 2,5 раза, щелочи – в 2,3 раза);

– исключить вообще такие химические реагенты, как известь негашеная (прежнее потребление 450 т), купорос железный (прежнее потребление 160 т), что положительно сказывается на показателях качества сточных вод с химической водоочисткой (ХВО);

– вывести из эксплуатации и демонтировать комплекс старых зданий на общей площади около  $2700 \text{ м}^2$ ;

– сократить численность обслуживающего персонала до 15 человек (2 штатные единицы аппаратчиков в новом здании ХВО, 1 штатная единица на предочистке; каждая штатная единица по 5 человек).



УДК 621.438: 621.11

## **ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПОВЫШЕНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ МАНЕВРЕННОСТИ УСТАНОВОК ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ**

КЛЮЧНИКОВ Д.И., КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. канд. техн. наук, доц. ГАЛИЦКИЙ Ю.Я.

Возникновение в последнее время реального рынка электроэнергии повышает требования к маневренности установок тепловых электрических станций (ТЭС): уменьшению продолжительности пусковых операций, расширению регулировочного диапазона нагрузок энергоблоков и скорости изменения их нагрузок в его пределах. Также повышение экономичности и маневренности ТЭС является важнейшей задачей при расширении и реконструкции станций.

Однако решение этих задач ограничено при использовании паротурбинных технологий, поэтому в настоящее время при строительстве новых станций и реконструкции старых много внимания уделяется газотурбинным (ГТУ) и парогазовым установкам (ПГУ). Поэтому работы по исследованию и улучшению маневренных характеристик ПГУ весьма актуальны.

Газотурбинные установки имеют некоторые преимущества перед паротурбинными, благодаря которым они и получили широкое распространение. Среди них: быстрый ввод турбоагрегата в работу, требование минимального расхода воды, более простое техническое устройство из-за отсутствия некоторых основных и вспомогательных элементов.

По причине того, что реконструкция экономичнее строительства новых станций, активно внедряется совмещение паротурбинной части и газотурбинной – парогазовые установки. И возникает проблема: характеристики паротурбинной части изучены довольно широко, в отличие от газотурбинной части, и некоторые достоинства ГТУ не используются в полной мере из-за ограничений ПТУ. Поэтому оборудование не всегда работает на заводских или оптимальных параметрах, а условия рынка электроэнергии вносят еще и свои коррективы.

Исходя из этого ставится задача исследования маневренности установок ТЭС, решения проблем по ее оптимизации с учетом условий, в которых работает оборудование, поиск способов более полного использования достоинств газотурбинной части в составе парогазовых установок.

УДК 621.311.22

## **ПРИМЕНЕНИЕ ОХЛАДИТЕЛЯ ДЛЯ ПАРА, РАСХОДУЕМОГО НА СУШКУ ВЛАЖНОГО И ВЫСОКОВЛАЖНОГО УГЛЯ**

ЛАГИН А.В., ИГЭУ, г. Иваново

Науч. рук. канд. техн. наук, проф. ОРЛОВ Г.Г.

В настоящее время доля угля в структуре топливного баланса тепловых электростанций в мире составляет 28 %, а природного газа – около 70 %. В перспективе до 2050 года доля угля в структуре топливного баланса электростанций в мире увеличится до 44 %, что связано с иссекаемыми запасами природного газа.

В России достаточно много запасов угля с высокой влажностью ( $w^p > 35$  %). Чтобы рационально использовать запасы этого угля, можно применять частично отработавшее тепло турбин для подсушки топлива. При подсушке угля удаляется внешняя влага, что позволяет снизить влажность бурых углей до  $w = 12-14$  %, а каменных углей – до  $w = 1-2$  %.

Данная работа посвящена оценке повышения экономичности тепловых электрических станций (ТЭС), сжигающих влажные и высоковлажные угли, путем применения паровой подсушки угля. Расчет производился с использованием метода коэффициентов ценности тепла для энергоблока К-300-240, при применении в качестве топлива назаровского бурого угля с начальной влажностью  $w_{p1} = 39$  % и конечной влажностью после подсушки  $w = 14$  %. Для рационального и экономичного способа отпуска пара из турбины на сушку топлива предлагается использовать пароохладитель, включенный по схеме Рикара – Некольного.

Расход пара на сушку топлива через пароохладитель Рикара – Некольного составляет 85 т/ч, а количество нагреваемой воды – 55,8 т/ч, что позволяет повысить температуру питательной воды на входе в котельный агрегат на  $\delta t_{пв} = 7,4$  °С. Однако возрастание температуры питательной воды приводит к увеличению потерь тепла с уходящими газами  $q_2$ , а это, в свою очередь, ведет к снижению КПД котельного агрегата и пережогу топлива. В результате действительная экономия топлива от установки пароохладителя составляет 2558,0 т у.т/г. С учетом стоимости охладителя для пара, расходуемого на сушку топлива, и затрат на монтаж, ремонт и амортизацию срок окупаемости установки пароохладителя составляет порядка 3–4 года.

УДК 621.311.22

## **ПОЛУЧЕНИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ МОЩНОСТИ НА ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ, СЖИГАЮЩИХ ГАЗ ОТ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ**

МАГОМЕДСАЙГИТОВ Д.М., ИГЭУ, г. Иваново  
Науч. рук. канд. техн. наук, проф. ОРЛОВ Г.Г.

В настоящее время наблюдается резкое возрастание потребления природного газа в энергетике многих стран мира, а к 2030 году оно удвоится. В России в ближайшие 20 лет увеличение добычи природного газа возрастет на 27 %, а общий объем добываемого газа достигнет 750 млрд м<sup>3</sup> в год. Доля использования природного газа в мировом топливно-энергетическом комплексе к 2050 году увеличится до 30 %, а в России к 2020 году – до 57 %. Для достижения цели стабильного, бесперебойного и экономически эффективного удовлетворения постоянно возрастающего спроса на природный газ необходимо предусматривать сокращение потерь при его транспортировке, а также осуществлять ресурсо- и энергоснабжение.

В России значительными потребителями газа являются тепловые электрические станции (ТЭС), на которые он поступает от газораспределительных станций (ГРС) с давлением 0,7–1,3 МПа. Перед котлами ТЭС оно снижается до 0,13–0,2 МПа, за счёт дросселирования давления газа в газорегуляторном пункте (ГРП). С точки зрения энергосбережения и получения дополнительной мощности ТЭС весьма перспективным является утилизация энергии избыточного давления газа, подводимого к ГРП в турбодетандерных агрегатах (ДГА). Такие агрегаты мощностью 5 МВт успешно эксплуатируются с 1995 года на ТЭЦ-21, а с 2008 года – на ТЭЦ-23 ОАО «Мосэнерго».

Нами для блочной ТЭС мощностью 3600 МВт был рассчитан эффект применения турбодетандерных агрегатов для получения дополнительной мощности на ТЭС за счет использования перепада давления газа от ГРС до котельного агрегата. Для предлагаемой нами схемы была проработана компоновка ГРП, учитывающая установку турбодетандеров, которые позволяли снизить давление газа с 1,3 МПа на его входе до 0,13 МПа на его выходе, что соответствовало требованию для давления газа на входе в котельный агрегат. Установка турбодетандеров вместо простого дросселирования газа на ГРП ТЭС мощностью 3600 МВт позволяет повысить её мощность на 40 МВт и применить имеющиеся типы отечественных турбодетандеров.

УДК 621.311.22

**ПРОГРАММА ПО РАСЧЕТУ РАСХОДА ПАРА НА СЕТЕВЫЕ  
ПОДОГРЕВАТЕЛИ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ПОДПИТКИ  
ТЕПЛОСЕТИ В РЕЖИМЕ ДИАЛОГА С ЭЛЕКТРОННО-  
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МАШИНОЙ**

МАЛАХОВ А.А., ИГЭУ, г. Иваново

Науч. рук. канд. техн. наук, проф. ОРЛОВ Г.Г.

Отпуск теплоты промышленным и бытовым потребителям в виде горячей воды для целей отопления, вентиляции и горячего водоснабжения в большинстве случаев осуществляется от теплофикационных установок тепловых электрических станций (ТЭС). Количество тепла, отдаваемое теплофикационной установкой ТЭС потребителям, зависит от температуры наружного воздуха. Чтобы обеспечить требуемое количество тепла в соответствии с температурой наружного воздуха изменяют температуру воды в подающей магистрали к потребителю или применяют так называемое качественное регулирование.

В открытой системе теплофикации горячее водоснабжение осуществляется непосредственно из нее. Как закрытые, так и открытые системы теплоснабжения требуют компенсации утечек. Расход воды на компенсацию утечек  $G_{\text{комп. утеч}}$  в открытой системе теплофикации составляет 0,75 % от объема воды в тепловой сети  $V_{\text{T с}}$ , плюс 0,5 % от объема воды в тепловых магистралях от ТЭС до города  $V_{\text{T м}}$ , плюс расход воды на горячее водоснабжение  $G_{\text{Г в}}$  с запасом в 20 %. Для закрытых систем теплофикации величина компенсации утечек не учитывает расход воды на горячее водоснабжение  $G_{\text{Г в}}$ .

Нами была разработана диалоговая система «человек – ЭВМ» для определения величины подпитки теплосети в зависимости от системы отпуска тепла потребителям. Она позволяет создать макет расчетной схемы, найти величины объемов воды в теплосети, тепловых магистралях, диаметры магистралей, параметры и расходы пара и воды, проходящих через пароводяные подогреватели.

Для определения термодинамических параметров пара и воды были использованы упрощенные уравнения ВТИ, охватывающие области температур до 600 °С, давлений до 26 МПа и энтропии выше 6,28 кДж/(кг · К).

Результаты расчета в разработанной системе выдаются на экран монитора в виде узлов принципиальной тепловой схемы блока ТЭС с указанием параметров и расходов теплоносителей (вода, пар), а также могут выводиться на печать в виде таблицы.

УДК 621.311

## **ЭЛЕКТРОМЕМБРАННАЯ УТИЛИЗАЦИЯ ОТРАБОТАННЫХ РЕГЕНЕРАЦИОННЫХ РАСТВОРОВ ВОДОПОДГОТОВИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ КАЗАНСКОЙ ТЭЦ-3**

МИНИБАЕВ А.И., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р хим. наук, проф. ЧИЧИРОВА Н.Д.;

д-р хим. наук, проф. ЧИЧИРОВ А.А.

Тепловые электрические станции – объекты, оказывающие значительное негативное воздействие на окружающую среду и относящиеся к областям применения наилучших доступных технологий, – объекты I категории (по Федеральному закону от 21.07.2014 г. № 219-ФЗ).

На Казанской ТЭЦ-3 (КТЭЦ-3) реализована технология «развитой» регенерации анионитовых фильтров, при которой регенерация  $An_I$  фильтров осуществляется отработанными крепкими щелочными растворами, образующимися при регенерации  $An_{II}$  фильтров.

Отбор отработанных регенерационных растворов осуществляется в ходе регенерации фильтров в бак крепких щелочных вод (БКЩВ) при достижении концентрации щелочи 4 г/л ( $pH = 13$ ) и заканчивается при содержании щелочи менее 4г/л. Отработанные регенерационные сточные воды с содержанием щелочи менее 4г/л сбрасываются или собираются в бак слабых щелочных вод (БСЩВ). Химический состав воды в БСЩВ: щелочь с концентрацией 0–0,4 % (в среднем 0,1 %), остатки Na-солей ( $Na_2SO_4$ ,  $NaCl$ ). Жесткость практически отсутствует.

На КТЭЦ-3 имеется электромембранная установка (ЭМУ) для утилизации щелочных отходов испарительной обессоливающей установки (продувка). После проведенной наладки ЭМУ задействуется для утилизации щелочных отработанных регенерационных растворов ионитной водоподготовительной установки (ВПУ).

Цели работы:

1) сокращение или полная ликвидация сброса отработанных щелочных сточных вод;

2) сокращение удельного расхода щелочи на регенерацию анионитовых фильтров;

3) разработка технологии рекуперации регенерационных сточных вод с получением крепких щелочных вод (щелочь > 2 %) и частично обессоленной воды с солесодержанием менее 0,15 г/л;

4) Наладка ЭМУ для работы с крепкими щелочными растворами.

Работа выполнена в рамках реализации базовой части государственного задания Минобрнауки РФ высшим учебным заведениям (соглашение 2014/448 от 13.03.2014 г., код проекта № 3029).

УДК 621.187

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ВОДОПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ С ОБРАТНООСМОТИЧЕСКИМИ МОДУЛЯМИ**

САИТОВ С.Р., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р хим. наук, проф. ЧИЧИРОВА Н.Д.

Впервые баромембранная технология была применена на Уфимской ТЭЦ-1 в 2002 году. Тогда был смонтирован и запущен блок установки обратного осмоса (УОО) 1 общей производительностью 50 т/ч. Позже, в 2012 году, схема водоподготовительных установок (ВПУ) была модернизирована путем добавления в неё блоков УОО 2.1 и УОО 2.2 производительностью 20–32,5 м<sup>3</sup>/час каждый и так называемого дожимного блока – УОО 3, производительностью 20–25 т/ч.

Ввод новой установки позволил многократно сократить потребление химических реагентов (кислоты, щелочи) на производство химически обессоленной воды (ХОВ).

Работа блоков УОО реализована по трехступенчатой схеме, последовательно по концентрату и параллельно по пермеату. Данная схема позволила избавиться от основного недостатка баромембранной технологии – большого размера стоков. Система ВПУ на сегодняшний день имеет количество стоков порядка 10–12 % при нормативном максимуме 14,8 % и неплохие экономические показатели.

Однако подобное схематическое решение привело к снижению качества получаемой ХОВ. С помощью перераспределения потоков в схеме возможно добиться как снижения существующего размера стоков, так и повышения качества ХОВ.

С использованием системного анализа, лабораторных исследований и численных методов математического моделирования разработана компьютерная программа, позволяющая снизить стоки имеющейся схемы до 5 %. Результат был достигнут за счет внесения в математическую модель некоторых изменений:

- потоки пермеата перенаправлены между узлами схемы;
- разработан и применен более совершенный алгоритм распределения исходной воды по блокам системы, благодаря которому более современное оборудование с большими коэффициентами преобразования и селективностью чаще всего работает при номинальном режиме.

УДК 621.039

## **ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА ИСХОДНОГО СЫРЬЯ НА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ АТОМНЫХ ЭНЕРГОБЛОКОВ**

САФИН Р.Ф., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. ШАГИЕВ Н.Г.

Согласно утвержденной Правительством РФ «Энергетической стратегии России на период до 2020 года» предполагается существенно повысить долю атомных энергоблоков в производстве электроэнергии. Россия является одним из крупнейших в мире производителей ядерного топлива. Намеченные темпы развития отечественной атомной энергетики определяют необходимость значительного увеличения производства урана в нашей стране.

Концентрация урана в земной коре в среднем составляет  $10^{-4} - 2 \cdot 10^{-2} \%$  (по массе). В урановых месторождениях, имеющих промышленное значение, руда содержит от нескольких сотых до нескольких десятых долей процента урана. При этом доля делящегося изотопа урана-235 в природном уране всегда одинакова – приблизительно 0,71 %.

Получение ядерно-чистых соединений – это трудоёмкий процесс, включающий, в частности, добычу природного урана в шахтах, на рудниках или в карьерах, его выщелачивание, аффинаж, получение гексафторида урана  $UF_6$  и др.

В структуре стоимости уранового топлива значительную долю составляют затраты на обогащение природного урана по делящемуся изотопу  $U_5$ . Существующая методика оценки этих затрат включает в себя учёт качества исходного сырья, добываемого на рудниках.

В настоящей работе проанализирован характер зависимости себестоимости электроэнергии, вырабатываемой АЭС, от массовой доли ядерно-чистых соединений урана в исходной руде.

Полученные расчётные данные говорят о существенной зависимости технико-экономических показателей атомных энергоблоков от качества природного уранового сырья, добываемого на отечественных месторождениях.

УДК 621

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОУСТАНОВОК С ГЛУБОКИМ ОХЛАЖДЕНИЕМ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ**

СБИТНЕВ А.А., ИГЭУ, г. Иваново

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. ЯБЛОКОВ Л.Д.

Энергоустановки с глубоким охлаждением уходящих дымовых газов предложены доктором технических наук А.Н. Ложкиным. Он был инициатором создания отечественных парогазовых установок (ПГУ) с высоконапорным или низконапорным парогенератором.

Актуальность данной работы достаточно велика в настоящее время, когда весь мир борется за снижение вредных выбросов (тепловых  $NO_x$ ,  $CO_x$ ). В Европе принята программа 20–20, чтобы снизить к 2020 году вредные выбросы на 20 %.

Россия, ориентируясь на данные разработки, может достигнуть гораздо большего эффекта с меньшими затратами и сроками реализации, исключив выбросы  $CO_2$  на «экологических» энергоустановках в атмосферу.

В экологических энергоустановках продукты сгорания из греющего агента (как в котлоагрегатах обычного типа) превращаются в рабочее тело (как в парогазовых установках), хладагент, регенерирующее биомассу вещество и интенсификатор нефтедобычи (жидкая двуокись углерода).

Применение таких энергоустановок дает возможность:

1) использовать высшую теплотворную способность топлива вместо низшей, как в энергоустановках других существующих типов, т.е. добавочной низшей теплотворной способности топлива эффективно

применять теплоту конденсации водяных паров, образующихся при сжигании топлива, исчерпав тем самым возможности утилизации всего тепла топлива;

2) исключить теплопотери с уходящими дымовыми газами;

3) получить, как в ПГУ обычных типов, дополнительную работу в газовой турбине, включенной в схему установки, за счет продуктов сгорания топлива наряду с работой, совершаемой паром в паровой турбине;

4) использовать при необходимости продукты сгорания для охлаждения воздуха, воды и т.п. для потребителей холода, а также для получения из продуктов сгорания кристаллической или жидкой двуокиси углерода, исключив выход их в атмосферу;

5) интенсифицировать все основные рабочие процессы: горение топлива, теплообмен, уменьшив тем самым габариты установки, металлоложения, потребные площади для застройки;

6) обеспечить высокую экологическую эффективность, сократив в несколько раз вредные газовые, золовые и тепловые выбросы в окружающую среду;

7) обеспечить, по сравнению с существующими ТЭЦ, экономию топлива на 25–45 % без учета эффекта от производства холода и двуокиси углерода;

8) снизить на 25–30 % удельные капиталовложения на 1 Гкал/ч присоединенной нагрузки, по сравнению с ТЭЦ существующих типов.

Экологические энергоустановки могут быть эффективно использованы во всей области централизованного теплоснабжения и теплохладоснабжения, при комплексном производстве электроэнергии и холода или кристаллической (жидкой) двуокиси углерода, атак же в области электроэнергетики взамен применяемых в настоящее время КЭС, ТЭЦ и котельных различных мощности и назначения. Такие энергоустановки могут иметь широкий диапазон единичных мощностей по всем видам вырабатываемой энергетической продукции при осуществлении специальных мероприятий. Они характеризуются маневренностью и высокой экономичностью при переменных режимах в широком диапазоне изменения нагрузок потребителей.

Экологические энергоустановки так же, как и установки других типов, характеризуются универсальностью по видам сжигаемого топлива (газ, жидкое топливо и продукты внутрицикловой газификации твердого топлива). В перспективе они могут эффективно использоваться для сжигания водорода (водородная энергетика).

Применение в энергетике и в различных отраслях народного хозяйства экологических энергоустановок позволит в перспективе преодолеть трудности, возникающие при разработке топливно-энергетического баланса, особенно для европейской части России.

УДК 621.181

## **ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕПРОЕКТНОГО ТОПЛИВА**

СЁМУШКИН В.П., ТПУ, г. Томск  
Науч. рук. асс. ВОРОНЦОВА Е.С.

Энергетическая стратегия России является мощным механизмом управления и регулирования энергетического рынка страны. Одним из положений стратегии до 2035 года является увеличение доли потребления местных твердых ископаемых энергоресурсов по отношению к привозным, в том числе и низкосортных.

В рамках геологоразведочной экспедиции в Томской области выявлено множество месторождений и проявлений ископаемых твердых топлив. Одним из самых крупных месторождений низкосортного бурого угля является Таловское, уголь которого известен широким диапазоном теплотехнических характеристик. Энергетическая ценность данного угля до сих пор в полной мере не определена в силу отсутствия опытного сжигания.

Для начальной оценки возможности использования таловского угля в энергетических котлах проведено численное исследование в топке котла, эксплуатируемого на одной из тепловых станций г. Томска. Моделирование параметров топочной среды осуществлялось в пакете прикладных программ FIRE 3D без реконструкции основного оборудования, но с изменением системы пылеприготовления.

На рис. 1 представлено распределение температур в объеме топки котла по её высоте, из которого видно, что температуры в топочном объеме при сжигании непроектного угля с влажностью в 30 % по значениям наиболее близки к температурам при сжигании проектного. На основе полученных результатов появляется возможность проводить дальнейшие исследования в рамках изучения вариантов сжигания таловского угля в котлах большой мощности.

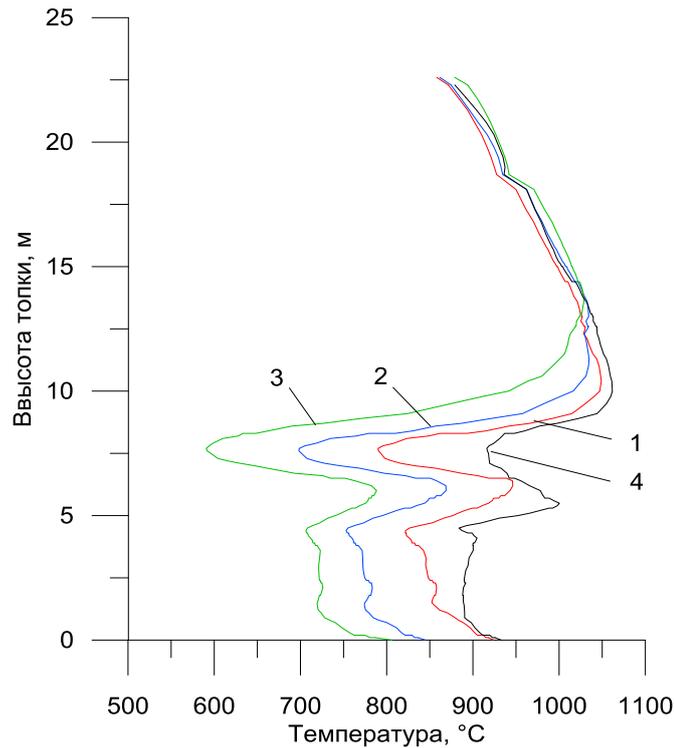


Рис. 1. Распределение температур по высоте топки: 1, 2, 3 – таловский уголь с влажностью 30, 40, 50 % соответственно; 4 – проектное топливо

УДК 621

## РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВ ПОДГОТОВКИ ПОТОКА ДЛЯ ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ

СУХОВ А.В., ВОДЕНИКТОВ А.Д., ИГЭУ, г. Иваново  
Науч. рук. канд. техн. наук, доц. ГРИГОРЬЕВ Е.Ю.

Основным недостатком существующих устройств подготовки потока (УПП), применяемых в трубопроводных сетях после местных сопротивлений и перед расходомерами, является то, что конструкция подразумевает использование выравнивающих фильтров, проходное сечение которых меньше, чем живое сечение самого трубопровода. Отмеченное обстоятельство приводит к увеличению локальных скоростей при выравнивании потока и необоснованному росту гидравлических потерь. По этой причине УПП в настоящее время в трубопроводных сетях используются крайне ограничено, в первую очередь, на расходомерных участках.

Однако использование УПП может существенно улучшить гидравлические и вибрационные характеристики трубопроводных сетей, а для этого необходимо решить задачу снижения гидравлических потерь самого УПП.

При разработке новой серии УПП были учтены недостатки существующих конструкций (дисковый тип, трубчатый и т.д.) и положен в основу принцип того, что выравнивание потока и разрушение вихревых структур должны происходить при существенно меньших скоростях в сравнении со скоростями движения потока в трубопроводе. Для этого разрабатываемое устройство выполнено с увеличенным диаметром корпуса, данное обстоятельство позволяет применять в конструкции стандартные фильтры (например, диск Цанкер), рассчитанные для большего типоразмера трубопровода.

Соединение УПП и трубопровода возможно по схеме использования диффузора при переходе от трубопровода к корпусу УПП и плавного конфузора при последующем обратном переходе. Проведенные физические и численные исследования показывают, что применение предлагаемых решений при использовании стандартных дисковых устройств типа Цанкер позволяют снизить коэффициент потерь  $\zeta$  почти в 2 раза по сравнению с традиционным решением установки данных дисков в зажим между фланцами. Кроме того, коэффициент равномерности потока составил  $\xi = 0,92$  (против 0,85 в стандартном УПП Цанкер).

Помимо этого, в материалах доклада представлены результаты испытаний ступенчатого соединения трубопровода и корпуса струевыпрямителя, доказана эффективность данного решения по сравнению с диффузорным соединением; представлены варианты новых фильтров типа «перфорированный конус».

УДК 621.311.22

## **ПОВЫШЕНИЕ МОЩНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ПАРОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК В УСЛОВИЯХ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР НАРУЖНОГО ВОЗДУХА**

ТЕПЛОВ Б.Д., НИУ МЭИ, г. Москва  
Науч. рук. канд. техн. наук, проф. БУРОВ В.Д.

Энергетические газотурбинные установки (ГТУ) могут работать в интервале температур  $t_{\text{НВ}}$  от  $-40$  до  $+40$  °С, и их мощности при  $t_{\text{НВ}} < 15$  °С больше, а при  $t_{\text{НВ}} > 15$  °С меньше номинального значения.

Одновальные энергетические ГТУ применяются в составе высокоэкономичных парогазовых установок (ПГУ) мощностью 350–750 МВт, и такое летнее снижение мощности одного энергоблока исчисляется несколькими десятками МВт. Использование ГТУ и ПГУ в энергетике расширяется, и даже для продолжительности летнего периода 3–4 месяца экономические потери от сокращенной выработки электроэнергии с самым низким удельным расходом топлива оказываются весьма значительными.

Ввод воды в тракт газотурбинных установок позволяет увеличить их экономичность и удельную мощность. Наиболее простым и дешевым путем является ввод воды в первые ступени компрессора в количестве до 2–2,5 % от расхода воздуха.

Расчетный анализ влияния впрыска воды в первую ступень компрессора ГТУ на характеристики парогазового энергоблока выполнен с использованием математической модели ПГУ-410 Невинномысской ГРЭС.

При температуре наружного воздуха, равной 15 °С, мощности ГТУ и ПГУ составляют 280 и 420,8 МВт соответственно. При повышении этой температуры до 30 °С мощность ГТУ снижается до 260 МВт, мощность ПГУ – до 394,4 МВт, т.е. на 20 и 25,6 МВт соответственно. При температуре наружного воздуха, равной 30 °С, впрыск воды в первую ступень компрессора ГТУ в количестве 1 % от расхода сжимаемого в нем воздуха позволяет стабилизировать электрическую мощность ПГУ на номинальном значении и повысить КПД ПГУ на 0,5 %. При этом прирост мощности ГТУ составляет 23 МВт (или 8,1 %), а прирост мощности паровой турбины – 2,9 МВт.

УДК 621.311.22

## **ПОСТРОЕНИЕ ПРОЦЕССА РАСШИРЕНИЯ ПАРА В $h, s$ - и $T, s$ -ДИАГРАММАХ ДЛЯ ГЛАВНОЙ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ТУРБИН ТЕПЛОВОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ**

УРАНОВ А.А., ИГЭУ, г. Иваново

Науч. рук. канд. техн. наук, проф. ОРЛОВ Г.Г.

Автоматизированное проектирование путем использования компьютерных систем позволяет повысить качество технологической и конструктивной проработки оборудования при одновременном сокращении сроков его разработки, кроме того, появляется наглядность выполняемой задачи.

На кафедре тепловых электрических станций (ТЭС) ИГЭУ была разработана диалоговая система определения параметров водяного пара в характерных точках процесса его расширения в главной турбине. Однако она не позволяла строить процесс расширения пара в  $h,s$ - и  $T,s$ -диаграммах для вспомогательных приводных турбин как питательных насосов, так и воздуходувок.

В разработанной и более совершенной системе указанный недостаток устранен. Расчет параметров рабочего вещества и построение процесса расширения пара осуществляются непосредственно в  $h, s$ - и  $T, s$ -диаграммах в диалоговом режиме, что, в отличие от большинства существующих программ по расчету тепловых схем ТЭС, позволяет получить достаточную наглядность. Для каждой точки процесса расширения определяются пять параметров: давление, температура, энтальпия, энтропия и удельный объем. Результаты расчета выводятся на экран дисплея, где одновременно с ними представляется и рассматриваемый участок процесса расширения пара в турбине. Кроме того, результаты расчета могут сохраняться на диске в виде графиков в  $h, s$ - и  $T, s$ -диаграммах или как информация в виде таблиц параметров пара. В связи с тем, что в тепловых схемах паротурбинных ТЭС могут применяться главные турбины как с промежуточным перегревом, так и без него, с отборами пара на производство и теплофикацию или без них, разработанная система позволяет учитывать тип турбины, а также назначение электростанции (КЭС, ТЭЦ).

В основу расчета термодинамических параметров разработанной системы положены упрощенные уравнения ВТИ для воды и водяного пара.

Разработанная программа рассчитана для проведения научно-исследовательских работ и использования в учебном процессе при выполнении курсового и дипломного проектирования.

УДК 621.165

## **ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ КОНДЕНСАЦИОННОЙ ТУРБОУСТАНОВКИ К-800-240 ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ИХ ЭКОНОМИЧНОСТИ И РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ В СРЕДЕ MATHCAD**

ФАРВАЗОВ И.И., КГЭУ, г. Казань

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

В СССР ускоренными темпами вводились мощные энергоблоки сверхкритического давления на тепловых электростанциях, являвшиеся

самыми высокоэкономичными энергетическими агрегатами того времени. Конденсационные энергоблоки были использованы для работы только в базовом режиме.

В данный момент конденсационные энергоблоки ТЭС, стали широко использоваться для покрытия переменных нагрузок. Важнейшей проблемой современного этапа развития энергетики страны является повышение эффективности и снижение нагрузки на энергоблок 800 МВт при изменении его режимов работы. Исследование показателей энергоблоков при частичных нагрузках необходимо для планирования их работы в энергосистеме.

Целью данного исследования является составление программы в среде Mathcad для вычисления показателей тепловой экономичности при различных режимах работы энергоблоков 800 МВт.

Для выбора нужного режима необходимо определить внутренний относительный КПД регулирующей ступени и группы ступеней цилиндра высокого давления (ЦВД), цилиндра среднего давления (ЦСД), цилиндра низкого давления (ЦНД) на номинальных и частичных нагрузках. В зависимости от режима, КПД группы ступеней изменяется в основном за счет потерь на входе в решетки и определяется потерями с выходной скоростью.

С помощью составленной программы были вычислены и графически показаны критерии тепловой экономичности энергоблока 800 МВт при различных режимах.

УДК 621.165

## **СНИЖЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОНДЕНСАЦИОННО-ВАКУУМНОЙ СИСТЕМЫ ТУРБОУСТАНОВКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АДСОРБЦИОННОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ МАШИНЫ**

ХАЛИУЛИН Д.Р., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. ШАГИЕВ Н.Г.

Значительный отрезок времени года сетевые подогревательные установки теплофикационных электростанций используются не на полной нагрузке. При этом существенно возрастает конденсационный поток пара. Кроме того, температура охлаждающей воды конденсаторов турбин

в летний период более высокая, чем в среднем по году. Всё это приводит к заметному ухудшению вакуума и снижению тепловой экономичности турбоустановки и станции в целом.

Одним из эффективных способов снижения параметров конденсационно-вакуумной системы может стать применение адсорбционной холодильной машины для охлаждения циркуляционной воды электростанции.

На Казанской ТЭЦ-1 в составе турбоустановки ПТ-60-130 (станционный № 6) используется двухходовой конденсатор 60-КЦС-1. Он имеет встроенный трубный пучок для подогрева исходной воды, предназначенной для подпитки пароводяного контура.

В настоящей работе рассматривается вариант установки двух адсорбционных холодильных машин – по одной на каждую половину конденсатора. Такое расположение удобно для эксплуатации и проведения ремонтных работ.

Для расчёта величины конденсационного потока использованы параметры, полученные на данной турбоустановке при работе на номинальной нагрузке в летний период.

В результате расчётов ожидаемое снижение расхода пара в конденсатор при уменьшении исходной температуры охлаждающей воды с 23 до 7°С составило около 8 %, с соответствующим изменением удельных расходов теплоты на турбоустановку.

УДК 621

## **РАЗРАБОТКА ЗАПОРНО-РЕГУЛИРУЮЩЕЙ ШИБЕРНОЙ ЗАДВИЖКИ**

ШЛЁНКИН Р.Ю., ИГЭУ, г. Иваново

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. ГРИГОРЬЕВ Е.Ю.

К сожалению, при проектировании арматуры вопросам гидрогазодинамики в настоящее время уделяется недостаточно внимания. В результате именно арматура, в том числе энергетическая, является генератором исключительно высоких амплитуд пульсаций давления рабочих сред, которые, в свою очередь, определяют вибрационное состояние трубопроводных сетей.

Особенно большие пульсации давления возникают за шиберными задвижками, работающими в режиме регулирования. Опасность для эксплуатации последующих трубопроводов в этом случае увеличивается вследствие того, что основные несущие частоты указанных пульсаций являются низкими.

Для улучшения вибрационных характеристик установок и связанных с ними трубопроводов необходимо стремиться к режиму безотрывного течения в проточных частях проектируемых устройств.

Классический пример движения рабочей среды, где в принципе невозможно избежать отрывного характера течения, – это клиновья шиберная задвижка. При всех компоновочных достоинствах этого типа арматуры шиберные задвижки при частичном открытии генерируют в потоке развитые дискретные вихревые образования. По существу после задвижек имеет место нестационарное течение двухкомпонентной среды с очень широким спектром частот и амплитуд возникающих в ней пульсаций всех параметров и скоростей.

Существенно снизить динамические нагрузки на трубопроводы при использовании клиновых шиберных задвижек возможно при применении разгрузочных отверстий во втором по ходу течения рабочей среды диске; профилированием сёдел дисков таким образом, чтобы обеспечивалось линейное изменение площади живого сечения в зависимости от степени подъема штока задвижки; использованием антикавитационных прорезей на самом запорном диске для исключения размыва его кромок.

Проведенные CFD расчеты течения рабочей среды в новой задвижке показывают, что за счет использования разгрузочных отверстий удастся существенно снизить зону отрывного течения за задвижкой, а применение профилированного седла позволяет добиться линейного характера изменения расхода рабочей среды при открытии задвижки.

Физические испытания, проведенные на аэродинамическом стенде с рабочей средой «воздух», показали, что использование предложенных решений позволяет в 2 раза снизить уровень вибрации на последующем прямом участке трубопровода.

Перспективным методом улучшения характера течения за задвижкой является разработка щелевого вихрегасителя и его применение в выходном патрубке задвижки.

**СЕКЦИЯ 4. РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ,  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ И БЕЗОПАСНОСТЬ,  
НЕТРАДИЦИОННАЯ ЭНЕРГЕТИКА**

УДК 62.97(98)

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАБОТЫ ЕС-ДВИГАТЕЛЕЙ**

АМИНОВ Б.А., КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. ст. преп. ИГОШИН В.А.

В настоящее время при проектировании систем отопления, вентиляции и кондиционирования (ОВК) все больше внимания уделяется вопросам энергосбережения.

Известно, что системы ОВК потребляют до 70 % энергоресурсов в промышленных, больших коммерческих или общественных зданиях. В связи с этим использование наиболее эффективных энергосберегающих средств и методов в данной области становится чрезвычайно актуальной задачей. Одним из новых направлений в данном вопросе является применение так называемых ЕС-двигателей, о которых специалистам ОВК известно сравнительно мало.

При работе ЕС-двигатель практически не выделяет тепла, в то время как АС-мотор имеет рабочую температуру +35...+75 °С, что накладывает дополнительную тепловую нагрузку на контур охлаждения. При этом ЕС-двигатели без дополнительного перегрева обеспечивают свою работоспособность в широком диапазоне температуры внешней среды. По данным ЕВМ РАРST, температура разогрева работающего ЕС-двигателя на основании проведенного тестирования не превышает +45 °С. Максимально и минимально допустимые температуры эксплуатации ЕС-двигателя составляют соответственно +75 и –20 °С.

После проведения замеров было выявлено, что ЕС-двигатель работает в пределах от –22 % от  $U_{\text{НОМ}}$  до +22 % от  $U_{\text{НОМ}}$  (от 180 до 270 Вольт).

Была получена зависимость скорости вращения от создаваемого давления:  $V = 16,5 \cdot \exp(0,0025777 \cdot P)$ .

Выявлены экспериментальным путем зависимости напряжения (в рабочих пределах 22 %) от потребляемой мощности, тока и скорости вращения. По полученным данным рассчитано значение коэффициента активной мощности ( $\cos \varphi$ ). Получены экспериментальные данные влияния

РІD-фактора на работу ЕС-двигателя. Причем, температура в двигателе не меняется в пределах 33 °С на 300 оборотах. Максимальное значение тока наблюдалось на скорости вращения 1380 об/мин и составило 47 °С.

Срок окупаемости ЕС-двигателя составляет 2,3 года. Стоимость энергосберегающего двигателя на 20780 руб. больше стоимости обычных АС-двигателей.

УДК 620.97

## **ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ МУСОРОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО КОМПЛЕКСА**

АТАНОВ Е.А., СамГТУ, г. Самара  
Науч. рук. ст. преп. КРАСНОВА Н.П.

Практический опыт использования биогазовых технологий показал, что из 1 тонны твердых бытовых отходов (ТБО) образуется 150 м<sup>3</sup> биогаза, а из 1 м<sup>3</sup> биогаза получается 4–4,5 кг сухого вещества удобрений. Для нашего города значения будут выглядеть следующим образом: в г. Самаре с населением 1 172 348 чел. (2014 г.), образуется около 1000 тыс. т/год ТБО; их переработка может дать до 150 млн м<sup>3</sup> биогаза в год и до 600 тыс. т/год органических удобрений.

Рассчитан комплекс производительностью 200 тыс. т ТБО/год. Из 200 тыс. т ТБО/год получено около 30 млн м<sup>3</sup> биогаза. Так, за год можно получить до 72 млн кВт · ч электроэнергии, учитывая, что собственная потребность комплекса составляет 20 млн кВт · ч в год и до 75 млн кВт · ч тепловой энергии, это позволит полностью обеспечить комплекс как теплом, так и электроэнергией. Получаем до 120 тыс. т/год качественных удобрений для сельского хозяйства. Стоимость удобрений от 3000 руб. за тонну. В денежном эквиваленте это порядка  $D_r = 360$  млн руб. в год.

Рассчитан годовой доход мусороперерабатывающего комплекса (МПК) производительностью 200 тыс. т ТБО/год от реализации вторичных энергоресурсов (ВЭР) (бумага, пластик, алюминий и т.д.).

Стоимость 1 кг макулатуры примерно 3 руб., с тонны мусора (400 кг макулатуры)  $D_m = 240$  млн руб.

Стоимость 1 кг ПЭТ составляет 9 руб., с тонны мусора (270 кг пластиковых бутылок)  $D_{п} = 486$  млн руб.

Стоимость 1 кг алюминия 55 руб., с тонны мусора (17 кг алюминия)  $D_{Al} = 187$  млн руб. Годовая прибыль составит:  $D_r + D_m + D_n + D_{Al} = 360$  млн + + 240 млн + 486 млн + 187 млн = 1273 млн руб. Тогда как общие затраты: труд ( $D_{труд}$ ), топливо ( $D_{топливо}$ ), водопотребление и водоотведение ( $D_{вод}$ ) составят:  $D_{труд} + D_{топливо} + D_{вод} = 47\,804$  тыс. + 2 862 тыс. + 494 тыс. = 51 160 тыс. руб.

Таким образом, автономные МПК во много раз экологичнее и выгоднее, чем мусорные полигоны.

УДК 621.311.22

## **РЕКОНСТРУКЦИЯ СИСТЕМЫ ТЕПЛОБЕСПЕЧЕНИЯ БЛОКОВ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ИЗОПЕНТАНА И ПРОПАНА НА СУРГУТСКОМ ЗАВОДЕ ПО СТАБИЛИЗАЦИИ КОНДЕНСАТА**

АФАНАСЬЕВ Е.П., Сургутский ЗСК, г. Сургут  
Науч. рук. д-р техн. наук, проф. ЛАПТЕВ А.Г.

На Сургутском заводе по стабилизации конденсата (ЗСК) с 1993 года эксплуатируется блок извлечения изопентана с узлом получения пропана (БИИ с УПП), который предназначен для фракционирования углеводородных газов. Сырьем установки является широкая фракция легких углеводородов, поступающая с установок стабилизации конденсата (УСК) (9 технологических ниток). Установка представляет собой единый технологический комплекс, на котором проводятся следующие технологические процессы:

- 1) выделение из широкой фракции лёгких углеводородов (ШФЛУ) изопентановой, пентан – гексановой и пропан – бутановой фракции;
- 2) разделение пропан-бутановой фракции на пропан и бутан.

Для обогрева кубов колонн на установку поступает пар от технологической котельной. Насыщенный водяной пар производится из химически подготовленной воды в смеси с возвратным пароконденсатом в паровых котлах при сжигании сухого отбензиненного газа, закупаемого предприятием на стороне. Кубы колонн обогреваются с помощью испарителей. Теплоноситель (пар) обладает высокой коррозионной активностью. В связи с этим регулярно наблюдаются случаи внеплановых остановок оборудования по устранению пропуска трубок испарителя. Использование насыщенного водяного пара в качестве теплоносителя в условиях Севера требует особого контроля за техническим состоянием паропроводов и трубопроводов возвратного

конденсата. Предлагается отказаться от применения насыщенного водяного пара в качестве теплоносителя при обогреве кубов колонн БИИ и УПП. В качестве теплоносителя можно использовать масло, тосол или хорошо зарекомендовавший себя при эксплуатации на Сосногорском газоперерабатывающем заводе (ГПЗ) синтетический органический теплоноситель DiphilKT (бензин – толуол).

Применение собственной системы теплоносителя БИИ и УПП, как ожидается, позволит:

- сократить эксплуатационные затраты на водоподготовку и эксплуатацию котлов (перепрофилировать котельную);
- сократить эксплуатационные затраты на содержание паропроводов и трубопроводов возвратного конденсата, теплоспутников;
- сократить простои из-за внеплановых ремонтов испарителей.

УДК 621.311.22

## **ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ПУЛЬСАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССОВ ФИЛЬТРАЦИИ**

АХМЕДЗЯНОВА В.Н., КАШАПОВА Л.М., КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. канд. техн. наук, проф. НОВОДВОРСКИЙ В.Л.

Оборудование для промышленной очистки воды призвано обеспечить работу предприятий всех отраслей промышленности, где используется специально подготовленная вода. Промышленная водоподготовка включает в себя различные процессы: умягчение, обессоливание, обезжелезивание, удаление запахов, цветности, механических и органических примесей, масел, нефтепродуктов.

Рассматривается этап умягчения воды. Загрязнение воды ионами кальция и магния приводят преждевременному износу оборудования. Существуют различные методы умягчения: термический, ионообменный, мембранный, магнитный, электромагнитный, комбинированный.

Ионообменный фильтр – это яркий пример умягчителей воды. Подобные системы очистки функционируют за счет обратимой химической реакции замещения, заключающийся в замене ионов магния и кальция, которые в дальнейшем дают нерастворимые соединения, на ионы натрия, хлора или иные легко растворимые соединения.

В настоящее время существует большое разнообразие вариантов конструкций аппаратов с улучшенными показателями. Однако предложенные методы имеют недостатки, поэтому модификация существующего ионообменного оборудования является актуальной задачей.

Проблема нашла удовлетворительное решение с использованием пульсации жидкой фазы. Этот способ значительно влияет на технико-экономические показатели процессов, в том числе на расход реагентов. При наложении пульсаций на жидкую фазу интенсификация происходит за счет следующих явлений:

- колебаний жидкой и твердой фазы, в результате чего увеличивается область активной рабочей зоны;
- стабильной равномерной структуры плотного слоя, обладающей хорошими фильтрационными характеристиками;
- интенсификации процесса массопереноса между ионообменной смолой и жидкостью из-за нестационарной гидродинамики жидкого потока и увеличения поверхности контакта фазы при пульсационных колебаниях частиц твердой фазы.

УДК 621.746.047:658.18

## **ПРИМЕНЕНИЕ НАНОЖИДКОСТЕЙ ПРИ ОХЛАЖДЕНИИ КРИСТАЛЛИЗАТОРА ПРИ ВАЛКОВОЙ РАЗЛИВКЕ СТАЛИ**

БАЙКОВА Д.А., МГТУ им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск  
Науч. рук. д-р техн. наук, проф. АГАПИТОВ Е.Б.

В последнее время всё более актуальными становятся задачи эффективного использования энергетических ресурсов, снижения энергопотерь в промышленности. Известно, что большинство промышленных и технологических процессов сопровождаются выделением огромного количества тепла, которое сбрасывается. В то же время низко потенциальное тепло обладает значительной энергией, которую можно полезно использовать, например, в системе теплоснабжения для внутренних нужд предприятия. Это является важной научно-технической задачей.

Прямое совмещение процессов литья и прокатки с применением тепла заготовки является одним из наиболее перспективных направлений развития современной металлургии. Наиболее полно данной концепции непрерывного производства отвечает валковая разливка стали.

Для достижения твердого состояния заготовки от кристаллизатора отводится порядка 518 кДж/кг тепла. Известно, что обычные охлаждающие жидкости (вода, масла, гликоли, фторуглероды) обладают достаточно низкой теплопроводностью, что является ограничивающим

фактором в современных конструкциях систем охлаждения. Для увеличения их теплопроводности можно создать многофазную (минимум двухфазную) дисперсную среду, т.е. частиц с характерными размерами от 1 до 100 нм. Теплоемкость наножидкости определяется размером и соотношением плотности материала наночастиц и несущей среды.

Можно сделать вывод, что при использовании наножидкости можно предположительно менять температуру воды до приемлемых значений для системы теплоснабжения.

УДК 620.97

## **ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ**

БАЛАБАНОВА Я.Р., СамГТУ, г. Самара

Науч. рук. ВОЛОДИН Е.А.

Солнечный коллектор – это устройство, поглощающее солнечную энергию и преобразующее её в тепловую с целью её дальнейшей передачи теплоносителю. Список достоинств данных установок довольно широк:

- 1) автономность, не нужны внешние энергокоммуникации;
- 2) долговечность, более 20 лет службы;
- 3) легкость сервисного обслуживания;
- 4) единовременные затраты при покупке оборудования и его монтаже;
- 5) Стабильная работа в любую погоду и время года, лишь с незначительным снижением КПД.

Особенности применения заключаются в невозможности работы установки в темное время суток, однако добавление специальных аккумуляторов, накапливающих за день энергию, позволяет решить данную проблему. Кроме того, нужно учитывать солнечную инсоляцию (облучение поверхности солнечным светом). В каждом регионе разные показатели инсоляции. Основными регионами применения являются страны с высокой стоимостью электроэнергии, такие как Германия, Испания, Дания, Турция и т.д. Стоимость там колеблется от 25 до 40 центов за кВт/ч, в то время как в РФ стоимость примерно 6 центов. Ввиду того что стоимость энергоносителей в нашей стране начинает увеличиваться и учитывая то, что китайские компании предлагают оборудование по ценам, значительно уступающим другим производителям, – рентабельность и актуальность таких установок повышается.

УДК 621.318.132

## ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УСТРОЙСТВА МАГНИТОЖИДКОСТНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

БАСОВА А.Е., ИГЭУ, г. Иваново

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. САЙКИН М.С.

Надёжное охлаждение различных технических объектов является критерием сохранения их эксплуатационных параметров и ресурса работы.

Объектом исследования является система магнитожидкостного охлаждения силовой установки. Достоинством предлагаемой системы жидкостного охлаждения силовых установок является возможность отсутствия таких составных частей, как расширительный бак, патрубок подвода и отвода охлаждающей жидкости. Это достигается за счёт того, что в качестве текучей среды используется магнитная жидкость (МЖ).

Целью работы является численное исследование распределения магнитной индукции в устройстве магнитного охлаждения при использовании постоянных магнитов с различными параметрами.

Исследование распределения магнитной индукции в устройстве магнитного охлаждения проводилось в программной среде ELCUT. При проведении численных исследований были рассмотрены магниты со следующими характеристиками:

- 1)  $B_r$  (Тл) = 0,77;  $H_c$  (кА/м) = 540;
- 2)  $B_r$  (Тл) = 1,1;  $H_c$  (кА/м) = 760.

Величина магнитной индукции определялась по мере удаления на расстояние  $\Delta$  от полюса магнита. По результатам построены зависимости для двух характеристик постоянных магнитов, рис. 1, а и б.

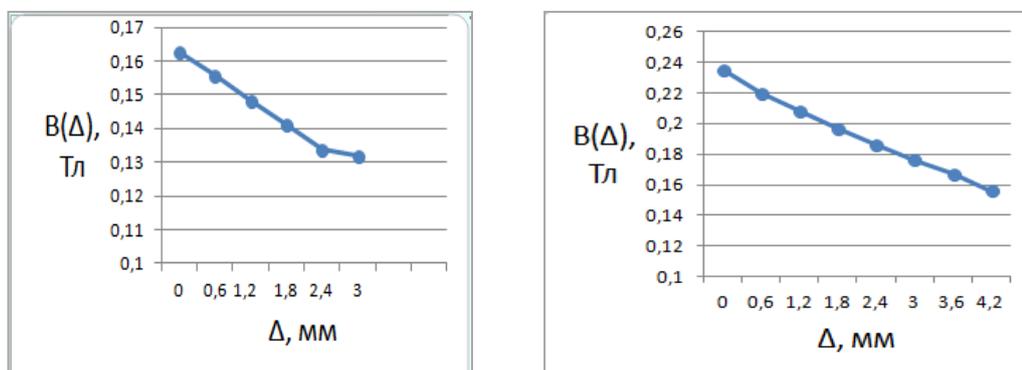


Рис. 1. График зависимости магнитной индукции от величины воздушного зазора между магнитом и корпусом: а – для магнита с  $B_r$  (Тл) = 0,77;  $H_c$  (кА/м) = 540; б – для магнита с  $B_r$  (Тл) = 1,1;  $H_c$  (кА/м) = 760

Анализ полученных результатов позволяет судить о величине магнитной индукции в воздушном зазоре между полюсом магнита и стенкой сосуда с жидкостью, а также о величине магнитной индукции, действующей на МЖ со стороны магнита, а следовательно, и об интенсивности процесса перемещения магнитной жидкости внутри корпуса.

УДК 621.438

### **МЕРОПРИЯТИЯ ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ ТЕПЛОТРАССЫ- ПЕРЕМЫЧКИ И ПЕРЕВОД КОТЕЛЬНОЙ В РЕЖИМ ЦЕНТРАЛЬНОГО ТЕПЛООВОГО ПУНКТА С ЦЕЛЮ УМЕНЬШЕНИЯ РАСХОДА ГАЗА**

БОЧКАРЕВ Р.Ю., ЗИГАНШИН И.А., КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. д-р техн. наук, проф. ИЛЬИН В.К.

В целях повышения эффективности работы, надёжности и качества снабжения потребителей тепловой энергии г. Зеленодольска в 2015–2017 годах необходимо реализовать ряд инвестиционных мероприятий, в том числе строительство теплосети-перемычки протяженностью 0,6 км до котельной «Школа-Интернат» с переводом ее в режим центрального теплового пункта.

Энергетическая эффективность мероприятия выражается в снижении потерь тепловой энергии при её передаче по тепловым сетям и уменьшение расхода топлива на её производство.

После окончания работ по строительству теплосети-перемычки будут достигнуты такие результаты:

1. В связи с переводом котельной на работу без обслуживающего персонала (сокращения 4-х операторов) годовая экономия фонда оплаты труда (ФОТ) составит 907,1 тыс. руб.

2. Экономия от снижения расхода газа из-за увеличения КПД котлов.

3. Экономия газа за 2015 год составит  $733,35 - 615,9 = 117,45$  тыс. м<sup>3</sup> на сумму  $117,45 \cdot 4531 = 531\,939,4$  руб. = 531,9 тыс. руб. без НДС, а с НДС 18 % – на сумму 627,6 тыс. руб.

4. Потери тепловой энергии от ввода новой сети составят 481 Гкал (потери газа 70 тыс. м<sup>3</sup>) на сумму 313,3 тыс. руб.

5. Суммарный годовой экономический эффект  $907,1 + 531,9 - 313,3 = 1125,7$  тыс. руб.

6. Стоимость мероприятия составляет 9 849,17 тыс. руб.

Основными целями данного мероприятия являются:

1. Повышение надежности и качества теплоснабжения потребителей.
2. Обеспечение устойчивого функционирования и развития систем коммунального комплекса.
3. Повышение эффективности функционирования предприятия.
4. Повышение энергетической эффективности выработки и транспортировки тепловой энергии.

УДК 621.31

### ВЕТРОАГРЕГАТ С УПРАВЛЯЕМЫМ ВЕТРОПОТОКОМ МОЩНОСТЬЮ 1 кВт

БУГАЕВ А.Ю., КТИ (ф)«ВолгГТУ», г. Камышин  
Науч. рук. доц. ГАЛУЩАК В.С.

Суть предлагаемой конструкции представлена на рис. 1.

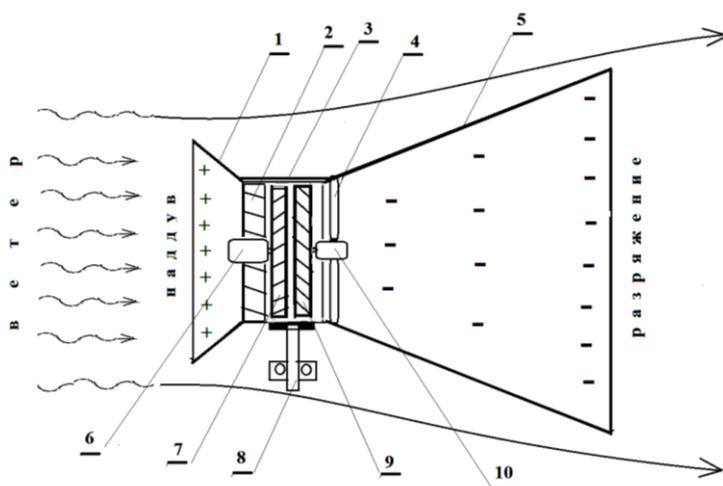


Рис. 1. Ветроагрегат в сборе

Ветроагрегат с ветронаправляющими средствами имеет конфузтор 1, диффузор 5 и рабочую цилиндрическую часть 3. Ветроагрегат состоит из трёх ступеней: неподвижной направляющей ступени 2, первого ротора прямого вращения 7 и второго ротора обратного вращения 9. Первый ротор 7 установлен на валу первого электрогенератора 6, а второй ротор 9 – на валу второго электрогенератора 10. Электрогенератор 6

закреплён по оси направляющей ступени 2, а электрогенератор 10 – в центральной части с помощью стоек 4. Центральная часть находится на фланце опорной штанги 8, которая может поворачиваться вокруг своей оси.

В собранном виде корпус ветроагрегата имеет конфигурацию сопла Лавалья, в котором набегающий на передний срез конфузора поток ветра сжимается, создавая наддув, скорость воздушного потока возрастает, увеличивая отдачу мощности ветротурбины на роторах 7 и 9. В свою очередь, наружные потоки воздуха обтекают диффузор 5 и создают на его выходном срезе разрежение, увеличивая тем самым перепад давлений на рабочих роторах турбины 7 и 9.

УДК 620.14

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ**

ВАРАКСИН А.В., ИГЭУ, г. Иваново

Науч. рук. доц. ДОЛИНИН Д.А.

В настоящее время существует большое количество различных методов и методик для определения эффективных теплофизических характеристик пористых тел. Что касается твердых бытовых отходов (ТБО), то в литературе имеются лишь разрозненные данные, полученные на основе экспериментальных исследований теплофизических свойств некоторых отдельно взятых компонентов ТБО.

Целью настоящего исследования является экспериментальное изучение теплофизических характеристик слоя ТБО.

Процесс тепломассопереноса в общем случае характеризуется непостоянством физических параметров: температуры и влагосодержания. С целью выявления зависимостей коэффициентов переноса от температуры и влагосодержания материала поставлен и проведен ряд опытов. При этом нами использовался зональный метод, который обеспечивает точность определения значений теплофизических коэффициентов.

Результаты экспериментов представлены в виде графика на рис. 1.

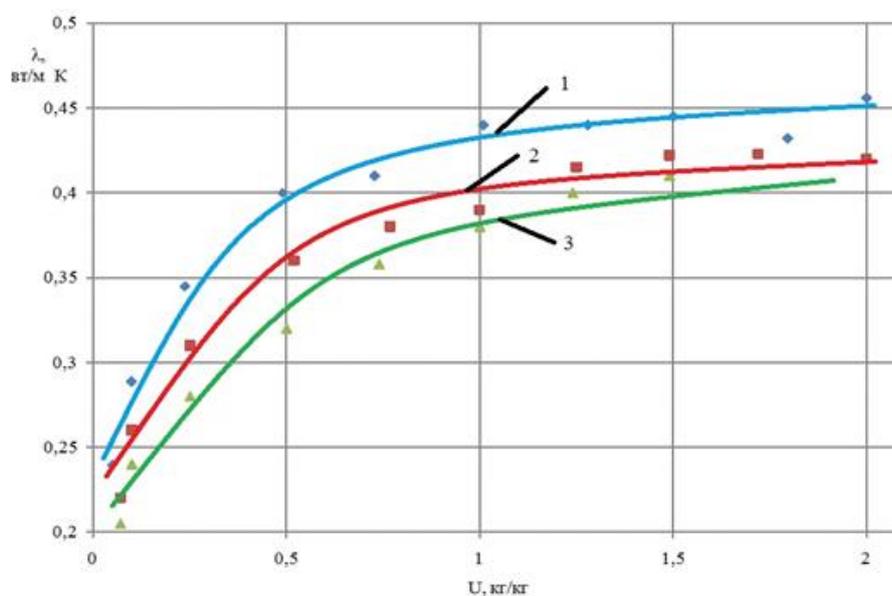


Рис. 1. Зависимость коэффициента теплопроводности от влагосодержания в процессе сушки при различных температурах теплоносителя: 1 – 192 °С; 2 – 157 °С; 3 – 132 °С

В результате проведенных исследований получены зависимости для расчета коэффициента теплопроводности и температуропроводности отвлажности материала.

УДК 620.97

## АВТОНОМНЫЙ МУСОРОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИЙ КОМПЛЕКС

ВАССЕРМАН А.А., СамГТУ, г. Самара  
 Науч. рук. ст. преп. КРАСНОВА Н.П.

Проблема свалок и залежей мусора беспокоит не только Самарскую область, но и другие регионы страны. Ситуация не будет меняться, пока мы кардинально не изменим подход к этой проблеме, а именно: перестанем складировать мусор, отчуждая и загрязняя огромные территории, а начнем сортировать, утилизировать и перерабатывать его. В Самаре 3 официально-зарегистрированных полигона, которые уже давно не справляются со своей работой. А про количество незаконных свалок, нам (как жителям города) говорить страшно. Они кругом и повсюду, и этим никто не хочет бороться. По телевидению постоянно слышно, что выделяются внушительные средства для изменения экологической ситуации. Но город как утопал в тоннах мусора, так утопать и продолжает.

Решение есть – строительство мусорного перерабатывающего комплекса, который сам будет обеспечивать себя электроэнергией. Автономность будет заключаться в том, что тепловая и электроэнергия, вырабатываемая реактором для генерации биогаза, будет поступать на нужды завода, а ее избытки будут проданы. Работа данного комплекса также принесет Самарской области дополнительный источник дохода в виде продажи вторичных энергоресурсов (ВЭР) и удобрений.

В одной тонне мусора примерно содержится:

- 400 кг бумаги (а это целых 5 спасенных деревьев);
- 270 кг пластиковых бутылок;
- 17 кг алюминия, при переработке которого предотвращается выброс в атмосферу 500 г токсичных веществ;
- 260 кг пищевых отходов.

Переработав их в биогаз, можно получить около 60 кВт·ч электроэнергии, а также удобрения для сельского хозяйства.

Кроме того, можно снизить вредные выбросы и сэкономить природные ресурсы. Но для того чтобы добиться переработки отходов на практике (от 90 % и более) необходимо внедрить строгую систему селективного сбора мусора, для этого же следует распространять экологическую культуру.

УДК 620.93

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПИРОЛИЗА ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ В ТЕРМИЧЕСКОМ РЕАКТОРЕ**

ВЛАСОВА В.А., ИГЭУ, г. Иваново  
Науч. рук. ст. преп. САМЫШИНА О.В.

Работа посвящена экспериментальному исследованию процесса пиролиза органических отходов в термическом реакторе с целью определения его режимных параметров и анализа состава образовавшегося газа.

Было проведено исследование процесса пиролиза в термическом реакторе органических отходов, содержащих бумагу, ткань, пленку, картофель. Измерения проводились на базе центра коллективного пользования при Ивановском государственном химико-технологическом университете с помощью синхронного термического анализатора NETZSCH STA 449 F3 Jupiter, совмещённого с ИК-Фурье спектрометром

VECTOR 22 с газовой кюветой. Термоанализатор измеряет тепловой поток и изменение массы, являющиеся следствием химических превращений.

Результаты экспериментальных исследований приведены на рис. 1.

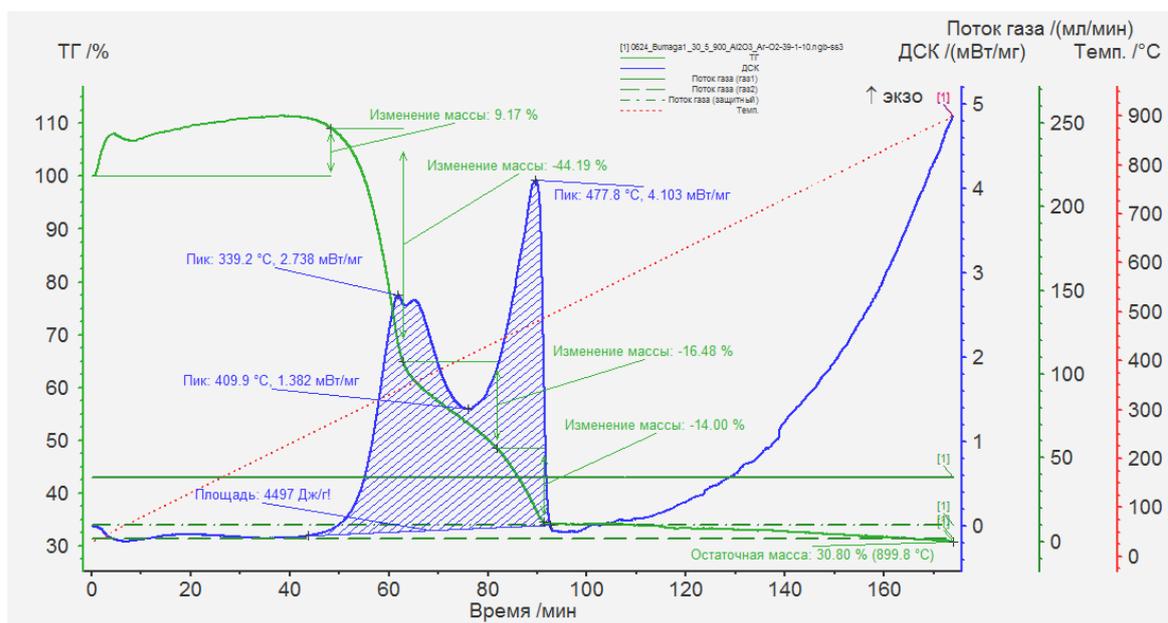


Рис. 1. Кривые дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) и термогравиметрии (ТГ) для бумаги при содержании  $O_2 = 1\%$  в атмосфере по времени

На основе полученных экспериментальных данных были определены диапазоны оптимальных температур процесса термической переработки твердых отходов, в частности температурный режим термического реактора рекомендуется поддерживать в диапазоне 329–511 °C, а также изменение их массы, состава и количества образовавшихся газов.

УДК 620.9

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ МОРСКОГО АВТОНОМНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО БУЯ

ВОРОТЫНЦЕВ Д.В., КАРПОВ Н.Д., МУРАВИЦКИЙ Я.Л.,  
НИУ МЭИ, г. Москва

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. ВАСЬКОВ А.Г.

Исследования течений на шельфе Черного моря особенно актуальны и перспективны – информация о них используется для инженерных расчетов, обеспечивающих разработку нефтегазовых месторождений,

и экспериментов, связанных с изучением сопутствующих этой деятельности загрязнений морской среды. Одним из наиболее часто применяемых в океанологии методов изучения поверхностных течений является метод поплавков. Суть метода заключается в отслеживании передвижения по поверхности моря специального поплавка – буя [1]. Однако, проблема такого буя заключается в малом времени автономной работы из-за недостаточной емкости питающих аккумуляторов.

В ходе выполнения работы авторами:

- рассмотрены существующие технические схемы обеспечения электроэнергией автономного исследовательского буя;

- получены характеристики энергопотребления контрольно-измерительной и передающей аппаратуры буя;

- предложены, проанализированы и рассчитаны два технических подхода к энергосбережению буя – с помощью солнечных фотоэлектрических преобразователей и линейного электромеханического генератора [2], использующего энергию поверхностных волн.

Экспериментальная эксплуатация буя с солнечными фотоэлектрическими преобразователями, проведённая сотрудниками географического факультета МГУ океанологических исследований в акватории Черного моря, показала эффективность предложенных решений, что позволило увеличить время автономной работы буя с нескольких дней до трёх месяцев. В ближайшие планы научной группы входит продолжение экспериментов, разработка более эргономичной конструкции исследовательского буя.

## Литература

1. Мысленков С.А. Исследование течений на шельфе Черного моря с помощью ГНСС-мониторинга / С.А. Мысленков, Т.Е. Самсонов // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2014. – № 3. – С. 62–70.

2. Хитерер М.Я. Синхронные электрические машины возвратно-поступательного движения / М.Я. Хитерер, И.Е. Овчинников. – СПб.: Корона принт, 2004. – 368 с.

УДК 66.021.3

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ АБСОРБЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

ГАЙНУЛЛИН И.И., КГЭУ, г. Казань

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

Абсорбционная колонна – массотеплообменный аппарат для разделения газовых смесей путём избирательного поглощения их отдельных компонентов жидким абсорбентом. Применяется при осушке и очистке природных газов, в производстве серной кислоты, хлора, аммиака и пр.

Энергетическая эффективность производства определяется тем, насколько полно используется подаваемая извне и производимая внутри энергия, т.е. насколько низки потери энергии.

Основные подходы и методы энергоэффективности и энергосбережения заключаются в следующем:

1. Замена устаревших контактных устройств в промышленных аппаратах на отечественные, более эффективные, что обеспечит интенсификацию тепло- и массообменных процессов, повышение качества выпускаемой продукции, снижение энергозатрат на единицу продукции.

2. Выбор энергоэффективного технологического режима с точки зрения минимизации энергетических затрат при заданном качестве выпускаемой продукции и экологической безопасности.

3. Модернизация или замена вспомогательного оборудования на теплообменными установками для обеспечения высокой степени энергоэффективной очистки теплоносителей, технологических потоков, газовых и жидких выбросов.

4. Изменения в теплотехнических схемах с целью энергоэффективного распределения тепловых нагрузок.

Цель работы – анализ путей повышения энергосбережения и способов уменьшения энергетических затрат при абсорбции.

УДК 536.24.01

## ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОЛЬЦЕВЫХ КАНАЛОВ

ГАЛИУЛЛИНА А.Э., КНИТУ-КАИ, г. Казань  
Науч. рук. д-р техн. наук ВАЧАГИНА Е.К.

В настоящее время все большую актуальность приобретают вопросы, связанные с необходимостью повышения эффективности теплообменного оборудования, ресурсо- и энергосбережением. Для сравнения теплообменных аппаратов с точки зрения энергоэффективности большинство исследователей используют теплогидродинамическую эффективность, выражающую отношение двух составляющих – чисел Нуссельта и коэффициентов гидравлического сопротивления для исследуемого канала и для круглой трубы. Как известно из литературы, ламинарные режимы течения являются наиболее перспективными для повышения энергетической эффективности, так как им свойственны низкие коэффициенты теплоотдачи. Анализ многочисленных опытных данных позволяет сделать вывод о преимуществах использования кольцевых каналов с целью увеличения тепловых потоков через их границы. Следует отметить, что при этом также увеличиваются гидравлические потери.

В настоящей работе рассматривалась задача о переносе тепла при ламинарных установившихся течениях вязкой жидкости в кольцевых каналах. Для решения уравнения переноса энергии использовался метод разделения переменных. Полученный массив значений чисел Нуссельта, зависящий от геометрического параметра, равного отношению меньшего радиуса к большему радиусу кольцевого канала, и от числа Пекле для случая стабилизированных процессов переноса тепла, был аппроксимирован автором степенными зависимостями с использованием метода наименьших квадратов с погрешностью 0,2 %. Для зависимости коэффициентов гидравлического сопротивления от геометрического параметра было применено аналитическое выражение.

Расчеты теплогидродинамической эффективности производились при различных условиях: при одинаковых габаритных размерах; одинаковых затратах мощности на прокачку; одинаковых расходах и т.д. В каждом отдельном случае автором был проведен анализ полученных результатов и предложены рекомендации по их применению.

УДК 621.314.212

## **ВОСХОДЯЩАЯ КОЛОНОЧНАЯ ХРОМАТОГРАФИЯ В СРЕДЕ ОРГАНИЧЕСКИХ РАСТВОРИТЕЛЕЙ**

ГАЛИШИНА И.А., НИКОНОВА А.О., ОГУРЦОВ Д.В., КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. д-р хим. наук, проф. НОВИКОВ В.Ф.

В настоящее время для диагностики маслonaполненного электрооборудования широко используются инструментальные методы анализа, которые наряду с положительными качествами имеют и отрицательные моменты, связанные со сложностью применяемой аппаратуры и высокой квалификацией обслуживающего персонала. Поэтому во многих энергетических службах для предварительной оценки технического состояния используют вариант плоскостной хроматографии, которая также имеет свои достоинства и недостатки. С целью упрощения и оптимизации анализа трансформаторного масла нами использовался вариант колоночной хроматографии, когда была исследована сорбционная емкость органических растворителей по отношению к различным по химической природе сорбентам. С этой целью была сконструирована и изготовлена экспериментальная установка, в которой органические растворители подавали снизу хроматографической колонки и их перемещение осуществлялось за счет капиллярных сил. Было установлено влияние природы растворителя на время его элюирования из хроматографической колонки.

УДК 620.92:542.06:620.97

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА ОТДЕЛЬНЫХ ФРАКЦИЙ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ ТЭЦ**

ГАЛЬКЕЕВА А.А., КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. д-р техн. наук, проф. МИНГАЛЕЕВА Г.Р.

На территории России накоплено огромное количество золошлаковых отходов, которые образуются при сжигании твердого топлива. В основном они складываются на золошлакоотвалах, которые занимают площадь более 22 тыс. га. Золошлакоотвалы располагаются в непосредственной близости от городов и населенных пунктов и представляют значительную угрозу окружающей среде. В то же время такие отходы являются ценным техногенным сырьем и содержат

множество ценных элементов, которые можно выделять в концентрированном виде и использовать в различных отраслях промышленности. Для реализации различных способов их утилизации необходимо проведение определенных технологических операций, связанных с разделением частиц по размерам, и обеспечение активности при взаимодействии с реагентами и другими материалами. В работе представлены результаты лабораторных исследований золошлаковых отходов Кировского и Московского золоотвалов Казанской ТЭЦ-2, которые подвергались предварительной сушке и фракционированию. Отдельные фракции измельчались в мельнице-активаторе с целью их механоактивации. Анализ проб на содержание Al, Si, P, S, K, Ca, Ti, Mn, Fe и других элементов проводился на энергодисперсионном флуоресцентном рентгеновском спектрометре EDX-800HS2. Получены следующие зависимости для основных элементов: содержание алюминия уменьшается с увеличением среднего размера частиц, причем до механической активации среднее значение было выше примерно на 3 %; содержание кремния, напротив, возрастает с увеличением размера частиц, но после обработки в мельнице снижается. Тенденция наиболее значительного увеличения содержания после механоактивации наблюдается только для кальция. Какие-либо устойчивые зависимости для других элементов пока не выявлены, и требуются дальнейшие исследования.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) (грант № 14-08-00333 «Разработка физико-химических основ создания высокоэффективных ресурсосберегающих технологических схем утилизации золошлаковых отходов энергетических объектов»).

УДК 621.315.17

## **СУПЕРГИДРОФОБНЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ БОРЬБЫ С ОБЛЕДЕНЕНИЕМ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ**

ГАЛЯМОВ А.А., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. ст. преп. ИГОШИН В.А.

Гололедно-изморозевые отложения (ГИО) на элементах линий электропередач (ЛЭП) представляют большую опасность для нормальной их эксплуатации и являются серьезной проблемой при транспортировке электроэнергии. Опасность налипания снега состоит в увеличении статических и динамических нагрузок на провода, линейную арматуру и опоры ЛЭП, что в ряде случаев приводит к их аварийному отключению.

Отложения льда, изморози и мокрого снега различного вида обусловлены многообразием процессов, происходящих в атмосфере. Образование отложений того или иного вида, в первую очередь, определяется погодными факторами: скорость и направление ветра относительно поверхности конструкционного элемента ЛЭП, турбулентность воздушного потока и жесткость конструкции, вариация температуры в процессе накопления ГИО и продолжительность интенсивного накопления отложений.

Супергидрофобные материалы и покрытия – это вещества, угол смачивания которых водой превышает  $150^\circ$ . Одновременно угол скатывания капель воды с таких поверхностей оказывается менее  $15^\circ$ , приводя к тому, что даже при небольшом наклоне поверхности к горизонту капли воды и отдельные частицы льда не могут удержаться на поверхности и самопроизвольно удаляются с нее.

Использование супергидрофобных покрытий обеспечивает эффективную защиту от ГИО на ЛЭП за счет следующих факторов:

- очень слабая адгезия водных сред и льда к поверхности покрытий, что связано с низкой поверхностной энергией покрытия и малой площадью реального контакта между подложкой и жидкостью;

- замедление льдообразования и снижение температуры кристаллизации слоя воды, прилегающего к супергидрофобному материалу;

- замедленный теплообмен между элементом ЛЭП, имеющим температуру ниже нуля, и каплями дождя или изморози, что приводит к скатыванию капель с поверхности до их затвердевания;

- применение таких покрытий позволит снизить накопление ГИО не только на проводах, но также и на опорах и изоляторах, что, в свою очередь, позволит эффективно бороться с потерями электроэнергии на токи утечки по поверхности изоляторов.

УДК 621.181:519.876

## **ВЛИЯНИЕ РАЗНИЦЫ СКОРОСТЕЙ УГОЛЬНЫХ ЧАСТИЦ И ГАЗА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕАГИРУЮЩЕГО ПОТОКА**

ГАСИЛИН В.В., КНИТУ-КАИ, г. Казань  
Науч. рук. д-р техн. наук, проф. КРЮКОВ В.Г.

Представлена математическая модель горения распыленного угля в воздушном потоке с учетом впрыска воды и абсорбции окислов серы. Моделируются процессы: горения в газовой фазе, испарения влаги, выхода летучих веществ, горения углерода, нагрева и испарения капель

впрыскиваемой воды и абсорбции окислов серы карбонатом кальция. Оценивается влияние разницы скоростей движения угольной частицы и воздушного потока.

Эта модель является комплексной и учитывает следующие явления: химические реакции в газовой фазе (формальная химическая кинетика); изменение температуры и скорости газа из-за тепло- и массообмена с частицами угля, протекания химических реакций, а также из-за впрыска воды; образование летучих в зависимости от температуры; горение углерода на поверхности частицы с образованием CO и CO<sub>2</sub>; теплообмен между частицами, газом и стенкой посредством конвекции и радиации; наличие минеральных примесей в угле; испарение влаги, содержащейся внутри угля; изменение плотности частицы угля по мере выхода летучих и горения углерода; кальцинацию и сульфатизацию частиц CaO; разницу между скоростями частиц угля и газа.

Основными допущениями модели являются: движение газо-угольной смеси считается одномерным; частицы угля имеют сферическую форму; наблюдается однородное распределение температуры по радиусу частицы; частицы угля не взаимодействуют между собой; горение угля происходит на поверхности частицы; толщина пограничного слоя определяется по модели «приведенной пленки»; минеральные примеси эмитируются пропорционально степени сгорания углерода; капли воды, инжектируемой в продукты сгорания, имеют одинаковый диаметр и распределяются равномерно по сечению канала.

Представлено сравнение результатов расчета с экспериментальными данными.

УДК 622.276.245.5

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПУЛЬСАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НЕФТЕДОБЫЧИ**

ГИЛЯЗОВА Л.М., КГЭУ, г. Казань

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

В последние годы в нефтяных компаниях России повышаются затраты на добычу нефти. Это связано с переходом основной группы месторождений на завершающую стадию разработки. Причинами снижения энергоэффективности при добыче нефти являются:

– повышение вязкости нефти, сосредоточенной в мелких порах;

– снижение фильтрационных свойств коллектора при отложении асфальтено-смолопарафинистых веществ (АСПО).

Выбор метода воздействия на призабойную зону пласта (ПЗП) осуществляется преимущественно в виде рекомендаций. Внедрение их методом проб и ошибок связано с большими неоправданными затратами. Очевидно, что прогноз динамики изменения массовых потоков позволяет снизить энергетические затраты и повысить эффективность выбора метода и режима дренирования нефтяных скважин. Это говорит об актуальности решения задач тепломассообмена и оценки энергозатрат при обработке нефтяных скважин.

Преимуществом пульсационного дренирования является возможность эффективной очистки и активизации призабойной зоны пласта. Важным оказывается выбор гидродинамического режима. Математическое моделирование позволяет решить эту задачу путем расчета и анализа массообменных потоков фильтрации и растворения АСПО.

УДК 62-66

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОХИМИЧЕСКОЙ КОНВЕРСИИ БИОМАССЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ**

ЗАБРОДИН Н.Г., ПГТУ, г. Йошкар-Ола  
Науч. рук. канд. техн. наук, доц. ОНУЧИН Е.М.;  
д-р техн. наук, проф. СИДЫГАНОВ Ю.Н.

Растительная биомасса является широко распространённым возобновляемым энергетическим ресурсом и обладает достаточно высокой теплотой сгорания: для сухой ствольной древесины теплота сгорания составляет 18,8 МДж/кг, для соломы и льнокостры – 14,7 МДж/кг.

Технологический процесс получения высококалорийных энергоносителей методом пиролиза биомассы включает следующие стадии: подготовку сырья, пиролиз, конденсацию парогазовой смеси, сбор и удаление жидких продуктов данного процесса, сгорание его газообразных продуктов пиролиза, стабилизацию давления в системе посредством отбора части пиролизного газа.

На рис. 1 показаны графики зависимости суммарного количества жидкости, образовавшееся при разложении исходных образцов биомассы

(т.е. количество смолы, испарившейся и образовавшейся в результате пиролиза биомассы воды), от температуры в реакторе и влажности сырья.

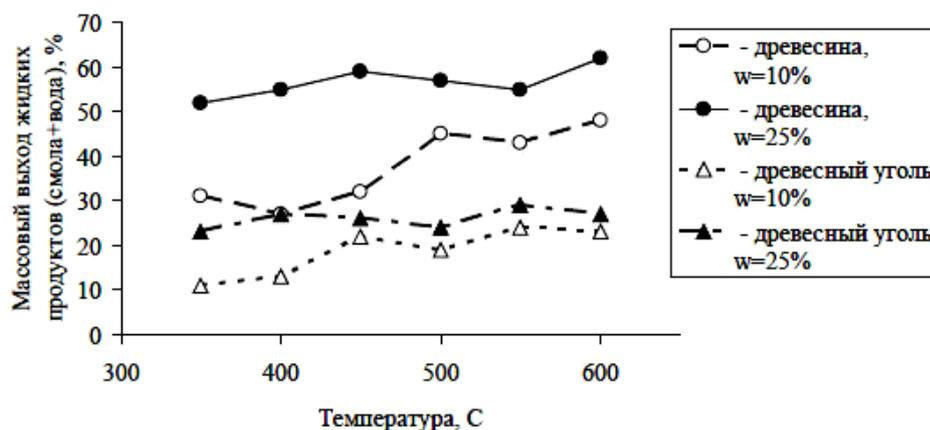


Рис. 1. График зависимости массового выхода жидких продуктов пиролиза от температуры

Как видно из рисунка, суммарный выход жидких продуктов и воды в области исследованных температур слабо зависит от последней. Выход таких важных продуктов пиролиза, как фенол, толуол, бензол, алкен, алкадиены, – сильно зависят от влажности сырья.

УДК 628.336

## ПЕРЕРАБОТКА ОБЕЗВОЖЕННОГО АКТИВНОГО ИЛА ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ В ТОПЛИВНЫЕ ГРАНУЛЫ

ЗАРИПОВА Г.М., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, преп. ИСХАКОВА Р.Я.

В настоящее время все большую актуальность приобретает вопрос охраны природных ресурсов за счет повторного использования отходов производства.

Целью исследования является получение топливных гранул на основе обработанного обезвоженного избыточного активного ила (ИАИ) очистных сооружений, которые могут быть использованы для получения тепловой энергии. Топливные гранулы на основе ИАИ выступают как альтернатива дровам, бурым углям, торфу и сланцам, при этом частично решается проблема снижения загрязнения окружающей среды отходами.

Для получения топливных гранул на основе активного ила необходимо проводить его обезвоживание. Одним из современных методов обезвоживания является центрифугирование. В качестве эффективного коагулянта перед механической очисткой предлагается дозировать в суспензию ИАИ необработанный и прокаленный карбонатный шлам водоподготовки.

Центрифугированию подвергались ИАИ, смесь, состоящая из этого ила и необработанного шлама, и смесь, представленная ИАИ и прокаленным карбонатным шламом ТЭС, в различных пропорциях. Время центрифугирования составляло 1, 2 и 3 минуты. Скорость вращения центрифуги колебалась от 500 до 1500 об/мин.

Влажность ИАИ после центрифугирования с необработанным карбонатным шламом снизилась на 10 %, с прокаленным карбонатным шламом – на 12–16 %.

Из образовавшегося осадка путем окатывания были получены топливные гранулы, которые обрабатывались органическими связующими (крахмал, лигносульфонат). Далее полученные гранулы подвергались сушке в сушильном шкафу при 110 °С.

Сжигание топливных гранул в значительных масштабах во многих случаях оказывается более выгодным, чем сжигание угля, мазута или газа. В связи с этим растет заинтересованность в использовании топливных брикетов в области получения тепловой энергии.

УДК 66.021.3

## **ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОНТАКТНЫХ УСТРОЙСТВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ МАССОПЕРЕНОСА И ПОТЕРЮ НАПОРА**

ЗИАТДИНОВ Р.В., КГЭУ, г. Казань

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

Контактные устройства являются одними из основных узлов массообменных аппаратов. Непосредственно на контактных устройствах происходят процессы массообмена между жидкой и паровой (газовой) фазами. Применяются они в нефтехимической, химической и других отраслях промышленности и пр.

Модернизация тепло- и массообменных аппаратов с использованием высокоэффективных контактных устройств является все более актуальным направлением в различных отраслях промышленности.

При создании насадок новых типов ставятся следующие цели: во-первых, увеличение эффективности массообменного процесса, во-вторых, расширение интервала устойчивой работы аппарата (как по нижнему, так и по верхнему пределам). Для достижения указанных целей насадки должны удовлетворять определенным технологическим требованиям:

- высокая эффективность (т.е. по возможности более низкое значение высоты, эквивалентной теоретической тарелки (ВЭТТ), более высокие значения коэффициентов массопередачи и степени извлечения);
- низкое гидравлическое сопротивление;
- высокая пропускная способность;
- малая удерживающая способность;
- простота монтажа в колонну.

Цель работы – провести анализ эффективности контактных устройств и моделируемости тепло- и массообменных процессов в их присутствии.

УДК 534.64

## **ИССЛЕДОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТУРБИНЫ ПОД ВЛИЯНИЕМ ШУМА ПУЛЬСИРУЮЩЕЙ СТРУИ**

ЗИННАТУЛЛИН Р.Р., ДРАНИЦИНА Е.А., КНИТУ-КАИ, г. Казань  
Науч. рук. канд. техн. наук, доц. ЯГОФАРОВ О.Х.

В настоящее время стоит проблема шумоглушения и нейтрализации вредных веществ. В данной работе рассмотрен первый вопрос: большинство двигателей имеют турбокомпрессорный агрегат для увеличения коэффициента полезного действия, но как влияет акустически турбина на пульсирующую струю не исследовано.

Авторами данной статьи исследовано, как турбина повлияет на шум пульсирующей струи. Был разработан специальный стенд для генерации аналогичного шума струи двигателя внутреннего сгорания. Пульсирующая струя поступает во входной патрубок, далее – на рабочее колесо, которое имеет 36 лопаток под углом наклона 30 °, после чего удаляется через выходной патрубок.

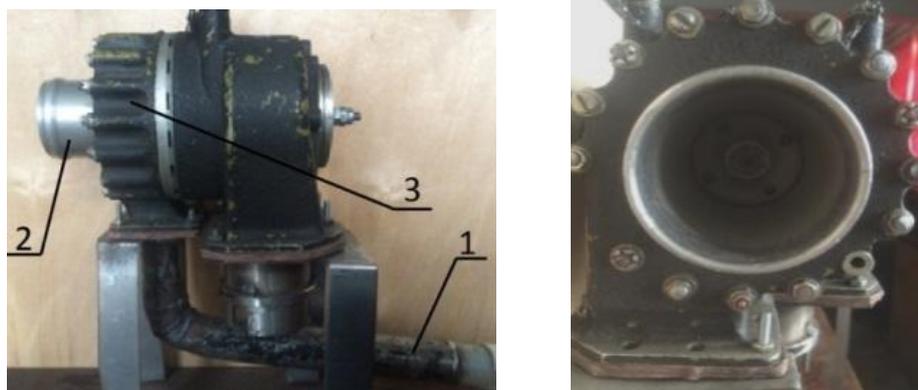


Рис. 1. Общий вид турбины: 1 – входной патрубок; 2 – выходной патрубок; 3 – корпус

Исследования показали, что на всех частотах происходит эффективное шумоглушение. На частоте 650 Гц наблюдается более высокое снижение уровня шума (25 дБ), самое низкое (менее эффективное снижение) – на частоте 50 Гц (9 дБ).

УДК 628.31

## **АБСОРБЦИОННЫЙ МЕТОД ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ**

ИБРАГИМОВА Л.Э., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. хим. наук, доц. НИКОЛАЕВА Л.А.

В настоящее время одной из острых проблем является очистка сточных вод от ионов тяжелых металлов. Несмотря на большое число работ, посвященных этой проблеме, поиск эффективных методов очистки сточных вод от тяжёлых металлов является по-прежнему актуальным. Существует много таких методов, к которым относятся химические, электрохимические, адсорбционные, ионообменные и др. Важными задачами очистки сточных вод являются применение наиболее энергосберегающих методов, а также возвращение извлеченных из сточных вод металлов обратно в производство.

В последние годы большое развитие получили способы, основанные на извлечении тяжёлых металлов с применением твердофазных отходов промышленных производств. Одним из перспективных в этом отношении является карбонат, содержащий отход. Десятки тысяч тонн шламов образуются в процессе снижения жесткости воды на стадии предварительной очистки на тепловых электростанциях и в котельных.

Шлам химводоочистки – это продукт известкования и коагуляции, природная устойчивая смесь определенного состава; он относится к 5 классу опасности и является нетоксичным. Применение карбонатного шлама в качестве реагента для очистки растворов от ионов тяжелых металлов обосновано его высокой эффективностью и экономической целесообразностью.

Процессы осаждения металлов из растворов под действием карбонатного шлама различаются, во-первых, скоростью процесса их извлечения, а во-вторых, активностью карбонатного отхода по отношению к конкретному металлу. Выявлена высокая активность шлама к ионам тяжелых металлов, таких как  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ .

УДК 621.438

## **РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ ОТ СОПУТСТВУЮЩИХ ПРИМЕСЕЙ**

ИСМАИЛОВА К.Ф., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р хим. наук, проф. НОВИКОВ В.Ф.

При электрохимической обработке воды в катодной камере основным процессом является восстановление содержащихся в ней веществ, что приводит к образованию нерастворимых гидроксидов тяжелых металлов. Также в катодной камере происходит прямое электролитическое восстановление (на поверхности электрода), а также электрокаталитическое восстановление (в объеме воды с участием катализаторов-переносчиков и гидратированных электронов) многозарядных катионов тяжелых металлов. Ионы тяжелых металлов в форме нерастворимых гидроксидов удаляются из воды флотацией.

Обработку целесообразно осуществлять с использованием диафрагмы из керамики на основе оксида циркония, что позволяет эффективно регулировать электромиграционный перенос ионов через диафрагму электрохимического реактора и удалять из воды их избыточное количество, в том числе ионов тяжелых металлов, нитратов, нитритов. Регулирование скорости и селективности электромиграционного переноса достигается изменением плотности электрического тока и перепадом давления на диафрагме. Материал диафрагмы позволяет сохранять стабильность физико-химических и фильтрационных ее характеристик. Флотационная очистка воды протекает во флотационном реакторе,

в который она под давлением поступает после катодной обработки в электрохимическом реакторе, насыщенная электрически активными микропузырьками водорода. Удаление всех микропузырьков газа в обычном флотационном реакторе требует большого времени вследствие низкой скорости их всплывания. Применение цилиндрических герметичных флотаторов с тангенциальным вводом жидкости позволяет отделить до 90 % всех флотируемых частиц при сокращении времени процесса.

УДК 66.081.2

## **ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЕ МЕРОПРИЯТИЕ НА УСТАНОВКЕ ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕМЕНТАРНОЙ СЕРЫ АО «ТАНЕКО»**

КАЗАНКОВ А.А., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. ДОЛГОВА А.Н.

Производство элементарной серы на ОАО «ТАНЕКО» состоит из установок абсорбции и регенерации аминов, отпарки кислых стоков, а также узлов, хранения, гранулирования и отгрузки серы. Важное значение для обеспечения энергетической безопасности на данном предприятии имеет безаварийная работа и техногенная безопасность промышленных объектов. Один из главных факторов риска – высокая изношенность технологического оборудования и устаревшие способы абсорбционной очистки газа.

Повышение конкурентоспособности выпускаемой продукции и снижение энергозатрат возможно двумя путями: разработкой новых технологий и аппаратного оформления технологического процесса или модернизацией действующих установок и производств. Второй путь характеризуется меньшими материальными затратами и сроками выполнения работ.

В связи с этим исследование и использование на установках предприятия получения серы новых энергосберегающих контактных устройств являются актуальными. Модернизация контактных устройств в установках производства на более эффективные позволит снизить энергозатраты в несколько раз.

УДК 621.311.69(043)

**МОДУЛЬНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ НА ОСНОВЕ  
МИКРОТУРБИННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  
ДЛЯ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВА  
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ**

КАЗАНКОВ А.А., КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. ст. преп. ИГОШИН В.А.

В нашей работе рассматривается возможность использования выработки «бесплатной» электроэнергии при дросселировании газа от магистрального давления до давления потребителя.

Турбодетандерные установки позволяют применять потенциальную энергию сжатого газа для выработки экологически чистой электроэнергии без сжигания топлива. Разработка и использование модульных энергетических установок соответствуют государственной политике по повышению развития энергоэффективности РФ и РТ.

В работе был произведен анализ имеющихся турбодетандерных установок зарубежных и отечественных производителей, которые могут быть применены в качестве автономных источников электроснабжения газораспределительных пунктов (ГРП).

Ориентировочная экономия (при примерной стоимости установки в 2,5–3 млн руб.) составляет 570 640 тыс. руб. за 1 год использования.

Данное устройство планируется монтировать на линию подачи природного газа.

Практика показала, что затраты на модульные энергетические установки, благодаря их экономичности и доступным ценам, окупаются в кратчайшие сроки.

УДК628.9

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛА ОТ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ  
ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ НА ИНФИЛЬТРАЦИЮ**

КАШАПОВА Л.М., ШАКУРОВА Л.М., КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. ст. преп. ИГОШИН В.А.

Основой написания научной работы стала проблема энергоэффективного использования ресурсов.

Свет издревле был для человека важнейшим фактором. Наряду со световым потоком осветительные приборы выделяют тепло. В своем роде это побочное явление, по отношению к которому нужно предпринимать соответствующие меры. Необходимо подойти к этому вопросу со стороны энергосбережения и рассмотреть способы утилизации тепла, выделяемые осветительными приборами.

Инфильтрация представляет собой естественный приток наружного воздуха в помещение, за счет которого возникает большая часть потерь тепла в отопительный сезон. Должны быть приняты все меры для того, чтобы уменьшить неконтролируемую инфильтрацию наружного воздуха.

В данной работе предлагается совместное рассмотрение этих вопросов для получения рекомендаций по энергосбережению помещения. Проведены расчеты для определения количества выделенного тепла от светильников, потерь на инфильтрацию. На основании полученных результатов сделаны выводы о целесообразности компенсации инфильтрационных потерь теплоизлучением от осветительных приборов, а также о снижении отопительной нагрузки.

Утилизируя тепло осветительных приборов, решив проблему инфильтрации наружного воздуха, мы сможем сэкономить значительное количество энергии, следовательно, ресурсов.

УДК 621.321

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ СЛОЯ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ**

КОРОТАЕВА Н.М., ИГЭУ, г. Иваново

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. КОЛИБАБА О.Б.

Процесс фильтрации газа в слое твердых бытовых отходов (ТБО) зависит от его гидравлического сопротивления. Определение сопротивления слоя ТБО сопряжено с затруднениями, связанными с его неявно выраженной структурой. Слой ТБО представляет собой пористое тело, состоящее из смеси различных по размеру компонентов продуктов жизнедеятельности человека, физические свойства которых различны.

Коэффициент гидравлического сопротивления зависит от порозности, высоты слоя ТБО и критерия Рейнольдса, который определяется скоростью движения фильтрационного потока теплоносителя. Исходя из условий эксперимента, варьировались эти параметры.

Порозность слоя ТБО изменялась в пределах от 0,78 до 0,58. Высота слоя – от 0,04 до 0,16 м. Скорость движения газа – от 0,8 до 2,7 м/с.

Расчет коэффициента гидравлического сопротивления проводился по методике, предложенной Л.М. Мариенбахом [1].

На основе теории планирования эксперимента [2] создана регрессионная модель для исследования коэффициента сопротивления слоя ТБО.

Предложены формулы для расчета коэффициента гидравлического сопротивления слоя твердых бытовых отходов в зависимости от высоты, порозности слоя и скорости газа. По результатам расчета построены монограммы для определения коэффициентов сопротивления слоя ТБО.

### Литература

1. Аэров М.Э. Аппараты со стационарным зернистым слоем / М.Э. Аэров, О.М. Тодес, Д.А. Наринский. – Л.: Химия, 1979. – 172 с.
2. Шипилов В.М. Планирование теплофизического эксперимента / В.М. Шипилов, Е.Н. Гнездов. – Иваново: ИВГУ, 1981. – 76 с.

УДК 621.365.5

## **ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА**

КУЛИБИНА К.А., СамГТУ, г. Самара

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. ЗИМИН Л.С.

Рассматривается задача достижения максимальной энергоэффективности технологических комплексов «индукционная нагревательная установка (ИНУ) – обработка металла давлением (ОМД)». Традиционный путь 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 критериев – это количество и качество продукции, а также эксплуатационные и капитальные затраты на ее производство.

Оригинальность рассматриваемой задачи заключается в том, что температурное поле нагреваемой заготовки и время её транспорта к деформирующему оборудованию в этом случае заранее не фиксируются, а входят в параметры оптимизации. Поиск проектных решений сводится к решению задач оптимального по быстродействию управления отдельно для ИНУ и ОМД для достижения заданной 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 621.311.22

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РЕАГЕНТА ОПЦ-600 В СИСТЕМЕ ОБОРОТНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ПГУ-230 МВт КАЗАНСКОЙ ТЭЦ-1**

КУЧКАРОВА А.Р., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. НИКОЛАЕВА Л.А.

Снижение потребления природной воды в теплоэнергетике, а также предотвращение теплового загрязнения поверхностных источников – приоритетные направления в энергосбережении и улучшении экологической обстановки в регионах страны. Важная роль в решении этих задач принадлежит охлаждающим системам оборотного водоснабжения с испарительными градирнями. Используемая вода поступает в градирни, где происходит отвод от нее теплоты в атмосферу. Рост мощности современных тепловых станций и различных предприятий требует не только увеличения площади охладителей, но и интенсификации процессов в них.

Основная часть воды, потребляемой на ТЭС, используется для охлаждения и конденсации отработавшего в турбинах пара.

Наиболее распространенный источник охлаждающей воды на ТЭС – естественные водоемы: реки, озера, водохранилища. На Казанской ТЭЦ-1 источником охлаждающей воды является – озеро Кабан. К 2018 году планируется модернизация КТЭЦ-1 – строительство ПГУ-230 МВт, проект которого будет перенесен с Новоберезниковской ТЭЦ. Расположение ПГУ-230 МВт спроектировано на ул. Лебедева, на территории бывшего АБЗ, что представляет некую отдаленность от озера и возникает необходимость строительства градирен. На градирях основной проблемой являются биологические обрастания, состоящие как из бактерий, так и из водорослей. Водоросли развиваются, как правило, на освещенных, омываемых водой поверхностях: сине-зеленые и зеленые в теплое время года; диатомовые – весной и осенью, а иногда и зимой. В научно-технологическом центре ОАО «Нижнекамскнефтехим» разработан комплекс реагентов для обработки охлаждающей воды систем водооборота, в частности ОПЦ-600 – представляет собой неокисляющий биоцид, который уничтожает бактерии (бактерицид), водоросли (альгицид), грибки (фунгицид) и предотвращает их рост. Биоцид предназначен для периодической обработки охлаждающей воды.

УДК 628.8: 681.5

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ОТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
ПРЕРЫВИСТОГО РЕЖИМА ОТОПЛЕНИЯ  
И ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОСУШКИ ВОЗДУХА  
ДЛЯ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ ЗДАНИЙ  
С РЕГУЛИРУЕМЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ**

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

Снижение энергопотребления зданий в условиях постоянного удорожания топлива является актуальной задачей для экономики нашей «северной» страны с достаточно холодным климатом, особенно, если учитывать весомую долю затрат на ТЭР (5–40 %).

Согласно Российским законам, с 1 января 2020 года годовая удельная величина расхода энергетических ресурсов в зданиях, строениях и сооружениях должна уменьшиться на 40 % по отношению к базовому уровню.

В сертифицированной климатической камере АНО «Ивановостройиспытания» были проведены исследования по изучению влияния применения теплоотражающих непрозрачных металлических (алюминиевых) экранов различного вида в окнах на повышение сопротивления теплопередаче окон и снижения тепловых потерь.

Авторами была разработана методика по определению минимальной температуры внутреннего воздуха при дежурном режиме отопления во время выполнения условия недопущения выпадения конденсата на внутренней поверхности стекла окна с повышенными теплозащитными свойствами (с применением теплоотражающих экранов). Также для дополнительного понижения температуры среды и наибольшей экономии энергоресурсов в нерабочее время разработана методика по понижению влагосодержания внутреннего воздуха.

Таким образом, при применении окон с теплоотражающими экранами и системы автоматизации наблюдается тройной энергетический эффект: в отопительный период уменьшаются теплотери за счёт увеличения сопротивления окна, снижаются затраты теплоты на нагрев помещения за счёт понижения температуры воздуха внутри помещения в нерабочее время, а в летний период уменьшается холодильная нагрузка на системы кондиционирования воздуха.

УДК 621.311.23/.26

## **ПРИМЕНЕНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ В ОБЪЕКТАХ ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА**

ЛЕВАШОВ С.А., СамГТУ, г. Самара

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. БАКРУНОВА Т.С.

Энергия сыграла решающую роль в развитии человечества. Рост потребления энергии невероятно высок. Благодаря энергии, человек может посвящать себя досугу, образованию, достигать высокой продолжительности жизни. Энергия необходима нам для: обогрева помещений, нагрева сырья и материалов; обеспечения передвижения; приготовления пищи, освещения, поддержания жизнедеятельности человека и т.д.

До сих пор человечество расходует ресурсы «по потребности», а именно: столько, сколько может оно добыть и переработать. Предел такому потреблению могут предоставить два обстоятельства: вероятность истощения энергоресурсов (что приводит к полной

ликвидации полезных ископаемых и природных ресурсов: кислород, земля, вода); экологическое ограничение энергоресурсов (приводящее к изменению климата и угрозе жизни человечества).

Доказано, что на тепловой баланс Земли не влияет использование нетрадиционных возобновляемых источников энергии, так как эта энергия всё равно превращается в теплоту, даже если человек её не использует. Из всех возобновляемых источников энергии на Земле Солнце является самым мощным. Главная характеристика Солнца – количество излучаемого света и тепла. Несмотря на то что Солнце находится на расстоянии 150 миллионов км от Земли, оно излучает огромное количество тепла, из которого на Землю в год попадает  $1,2 \cdot 10^{17}$  Вт, что в  $10^8$  раз больше, чем сегодня потребляется в мире. Ученые считают, что мощные солнечные электростанции (СЭС) по своей экономичности смогут стать в один ряд с современными тепловыми и атомными электростанциями. Рассмотрим СЭС-5 на территории Российской Федерации. На Крымском побережье построена солнечная электростанция СЭС-5. Мощность – 5000 кВт. СЭС-5 предназначена для разработки новых, надежных и эффективных технологий. Вместе с тем, СЭС-5 вырабатывает электроэнергию и выдает ее в Крымскую энергосистему.

Использование солнечной энергии может быть полезно в нескольких отношениях: при замене ею ископаемого топлива уменьшается загрязнение воздуха и воды; замена ископаемого топлива означает сокращение импорта топлива. Энергия солнечного излучения должна быть распределена по большой площади, а для нашей огромной страны это и выгодно и экологично.

УДК 621.311.22

## **АКТУАЛЬНОСТЬ ПОСТРОЙКИ МАЛЫХ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРА ЯКУТИИ**

МЕСТНИКОВ Н.П., СВФУ им. М.К. Аммосова, г. Якутск  
Науч. рук. канд. геогр. наук, проф. КОНСТАНТИНОВ А.Ф.;  
канд. техн. наук КОРЯКИН А.К.

Республика Саха (Якутия) (РС (Я)) является уникальным регионом в единой энергетической системе Российской Федерации. Компания ПАО АК «Якутскэнерго» занимает одно из первых мест в РАО «ЕЭС России» по количеству установленных энергоисточников, площади обслуживания и протяженности линий электропередачи. В настоящее

время самым проблематичным энергорайоном в РС (Я) является Северный, который снабжает весь Крайний Север и имеет автономную генерацию (дизельные электростанции (ДЭС), солнечные электростанции (СЭС) и ветряные электростанции (ВЭС)). Основными проблемами являются износ оборудования ДЭС, сложная транспортная инфраструктура для перевозки дизельного топлива и ее высокая стоимость. Для данных проблем есть только одно решение – это внедрение комбинированных электростанций. Если проанализировать использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ), то выясняется, что ВЭС требует многих денежных вливаний, СЭС имеет малый срок окупаемости, но производит небольшие мощности выработки электроэнергии. Выбор за малыми гидроэлектростанциями (ГЭС). На основе материалов семинара АО «Сахаэнерго» был разработан механизм внедрения и постройки малых ГЭС в нескольких экономически, географически и технически выгодных местах в РС (Я). Были вычислены сроки окупаемости, вид ГЭС, мощности выработки электроэнергии и способ постройки. Результаты данной работы внесут ощутимый вклад для пилотного проекта постройки малой ГЭС в Оймяконском районе р. Восточная Хандыга АО «Сахаэнерго». Полученные результаты будут применяться в создании бизнес-плана МГЭС, технического задания и расчетов мощности производства электроэнергии.

УДК 621.644.07

## **ПРИМЕНЕНИЕ ГАЗОНАПОЛНЕННОЙ ПЛЁНКИ ПРИ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИИ**

МЖЕЛЬСКАЯ О.Ю., СамГТУ, г. Самара  
Науч. рук. д-р техн. наук, проф. ЩЁЛОКОВ А.И.

В настоящее время большая часть тепловых сетей давно выработала свой ресурс. Сети ветхие и более 70 % из них подлежат замене. Из-за повреждения на многих участках трубопровода тепловой изоляции потери теплоты достигают 35 %. В настоящее время, благодаря низкому коэффициенту теплопроводности, наиболее используемыми теплоизоляционными материалами являются минеральная вата ( $\lambda = 0,055$  Вт/м · К), пенополиуретан ( $\lambda = 0,03$  Вт/м · К) и пенополистирол ( $\lambda = 0,04$  Вт/м · К).

С целью снижения тепловых потерь в трубопроводе и уменьшения стоимостных показателей теплоизоляционных конструкций предлагается применять новый вид теплоизоляционного материала – изготовленную из полиэтилена плёнку с ячейками, заполненными диоксидом углерода.

Диоксид углерода обладает одним из самых низких показателей коэффициента теплопроводности ( $\lambda = 0,014$  Вт/м · К), соответственно, его можно использовать для заполнения ячеек плёнки.

Главными преимуществами такого вида изоляции являются: большее термическое сопротивление, по сравнению с имеющимися аналогами; повышенная устойчивость к влаге и, как следствие, дополнительная защита от коррозии; невысокая стоимость; простота и удобство монтажа; долговечность.

К отрицательным качествам материала относится невозможность его использования при температуре выше  $120$  °С, так как полиэтилен начинает плавиться. Поэтому предлагается применять газонаполненную теплоизоляцию поверх уже известного материала – термостойкой краски.

При использовании такого вида тепловой изоляции может быть задействовано всего 2 слоя газонаполненной пленки. Это значительно сокращает капитальные затраты при равных тепловых потоках.

УДК 628.3: 665.6

## **ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ НОВЫМ НЕФТЯНЫМ СОРБЕНТОМ**

МИННЕЯРОВА А.Р., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. хим. наук, доц. НИКОЛАЕВА Л.А.

В настоящее время вопрос очистки сточных вод от нефтепродуктов (НП) является одним из главных для промышленных предприятий. Для очистки сточных вод от НП применяют механические, физико-химические, химические и биологические методы. Адсорбция представляет собой один из наиболее эффективных физико-химических методов глубокой доочистки от НП.

Целью проведения работ является экспериментальное исследование процесса адсорбции НП из сточных вод гидрофобным сорбционным материалом (СМ) на основе карбонатного шлама, определение его адсорбционной емкости, определение энергии Гиббса, дифференциальной теплоты, констант скорости данного процесса, построение изотерм и изостер.

Были исследованы общетехнические характеристики гидрофобного сорбционного материала на основе карбонатного шлама – насыпная плотность, дисперсность, влажность, зольность, суммарный объем пор, суммарная пористость, плавучесть, влагоемкость, определена его сорбционная емкость по отношению к НП.

Для оценки эффективности СМ была проведена очистка сточных вод, загрязненных НП, в динамических и статических условиях при разных температурах.

Концентрация НП в модельной смеси –  $1,35 \text{ мг/дм}^3$ . Высота слоя загрузки – 20 см, масса – 54,38 г, скорость фильтрования – 3,5 м/ч. Через загрузку СМ пропускаются равные объемы очищаемой воды порциями по  $1 \text{ дм}^3$ . «Проскок» НП фиксируется на уровне  $0,3 \text{ мг/дм}^3$  и появляется в фильтрате при пропускании  $163,62 \text{ дм}^3$  сточной воды. Полное насыщение СМ происходит при пропускании  $210,38 \text{ дм}^3$  модельного раствора. Процесс сорбции прекращается, когда концентрация НП в фильтрате достигает значений концентраций на входе в фильтр. Таким образом, гидрофобный сорбционный материал на основе карбонатного шлама является эффективным адсорбентом НП (степень извлечения – 80–95 %).

УДК 697(075.32)

## **О РАБОТЕ ПОГОДНОГО РЕГУЛЯТОРА В НЕСТАЦИОНАРНЫХ УСЛОВИЯХ**

МИРЗОШАРИФЗОДА Н.Д.Д., КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. канд. техн. наук, доц. ГУСЯЧКИН А.М.

Погодный регулятор в системах отопления зданий призван обеспечивать соответствие отопительной нагрузки температуре наружного воздуха.

В зимнее время температура наружного воздуха отличается нестабильностью. В таких условиях погодный регулятор из-за инерционности водяного отопления не всегда в состоянии своевременно реагировать на эти изменения, в результате чего происходят «перетопы» зданий или недоподача теплоты в систему отопления. Для совершенствования работы погодного регулятора необходимо выяснить особенности процесса подачи теплоты в отопительные системы при изменяющейся температуре наружного воздуха.

Между температурой наружного воздуха и отопительной нагрузкой существует прямолинейная зависимость. Поэтому при нестационарной температуре наружного воздуха процессы изменения подачи теплоты в отопительную систему можно описать линейными дифференциальными уравнениями  $n$ -ного порядка.

Из теории автоматического управления известно, что порядок уравнения и его коэффициенты можно определить экспериментальным путем. Для этого необходимо подать на вход регулятора возмущающее воздействие, например, единичный ступенчатый импульс.

Нами были получены переходные характеристики погодного регулятора на экспериментальной установке. Для этого на установке датчик температуры наружного воздуха был заменен на резистор с соответствующим омическим сопротивлением. Этим резистором быстро изменялась величина сигнала температуры наружного воздуха.

По виду переходных характеристик выявлено, что процесс изменения температуры теплоносителя в системе отопления при варьировании температуры наружного воздуха можно описать линейными дифференциальными уравнениями первого порядка с постоянными коэффициентами. Из переходных характеристик определены коэффициенты этих уравнений и время запаздывания процесса.

УДК 620.9:697

## **ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ В ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОМ СЕКТОРЕ**

МУЛЛАГАЛИН М.Р., КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. канд. техн. наук, доц. СИДОРОВ А.Е.

Одной из самых актуальных проблем в ЖКХ на сегодняшний день является проблема сбережения тепловых ресурсов. Поскольку ЖКХ – это сфера, где расход тепловых ресурсов весьма велик, а экономия при использовании систем центрального отопления и горячего водоснабжения (ГВС), почти невозможна, существует острая необходимость внедрения альтернативных источников энергии и энергосберегающих технологий.

Наиболее значительными устройствами альтернативной теплоэнергетики являются уникальные многофункциональные тепловые насосы (устройства, применяющие тепловую энергию воздуха, грунта, водоема). Насосы перекачивают низкопотенциальное тепло в относительно высокопотенциальную тепловую энергию, которая используется для ГВС и систем отопления, что и позволяет сэкономить до 80 % энергоресурсов. Кроме того, насосы способны обеспечить системой кондиционирования и вентиляцией. Использование тепловых насосов в ЖКХ позволит уменьшить стоимость ГВС в 3–4 раза.

Для обеспечения работы теплового насоса необходимо электричество. Но это все равно намного выгоднее, чем применять только электрообогреватель. Так как электродом или электрообогреватель тратит ровно столько же электроэнергии, сколько и выдает тепла. Например, если на обогревателе написана мощность 2 кВт, то он тратит 2 кВт в час и выдает 2 кВт тепла. А тепловой насос выдает тепла в 3–7 раз больше, чем тратит электроэнергии. Например, используется 5,5 кВт · час на работу компрессора и насоса, а тепла получается 17 кВт · час. Именно такой высокий КПД и является основным достоинством теплового насоса.

К преимуществам тепловых насосов, в первую очередь, следует отнести экономичность, кроме того, упрощаются требования к системам вентиляции помещений и повышается уровень пожарной безопасности. Все системы функционируют с использованием замкнутых контуров и практически не требуют эксплуатационных затрат, кроме стоимости электроэнергии, необходимой для работы оборудования. Тепловой насос надежен, его работой управляет автоматика.

УДК 620.14

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СУШКИ СЛОЯ ОРГАНОСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ**

МУРАТОВА Т.В., ИГЭУ, г. Иваново

Науч. рук. ст. преп. ГАБИТОВ Р.Н.

В работе предложена математическая модель слоя твердых бытовых отходов (ТБО), расположенного в зоне сушки реактора шахтного типа. Слой ТБО рассматривается как условное изотропное квазиоднородное пористое тело с эффективными теплофизическими свойствами. Модель позволяет рассчитать температурное поле слоя в процессе сушки. Полученные решения используются в тепловых расчетах реакторов для термической переработки многокомпонентных органических отходов.

Предполагается заменить реальную пористую структуру ее моделью – условным квазиоднородным изотропным пористым телом с усредненными величинами порозности, температуры, давления и т.д. Такому условному пористому телу приписывают непрерывное температурное поле и условные эффективные теплофизические коэффициенты: эффективный коэффициент удельной теплоемкости

и эффективный коэффициент теплопроводности. Полагают, что температура газа в порах и материала мало отличаются друг от друга, и в расчетах ее принимают одинаковой.

Температурное поле слоя ТБО описывается дифференциальным уравнением теплопроводности с эффективными теплофизическими свойствами при граничных условиях II рода. Начальная температура слоя ТБО равна температуре окружающей среды. В качестве модели твердого «скелета» принята модель многокомпонентной смеси с вкраплениями [1].

Эффективный коэффициент теплопроводности  $\lambda_{эф}$  рассчитывается по формуле Л.А. Бровкина [2].

Математическая модель теплообмена в процессе сушки слоя ТБО реализована в программном комплексе ANSYS [3–4] и адаптирована на условия лабораторного эксперимента. Оценена погрешность расчетных и экспериментальных температур слоя ТБО, которая не превышает 5 %.

### Литература

1. Дульнев Г.Н. Теплопроводность смесей и композиционных материалов / Г.Н. Дульнев, Ю.П. Заричняк. – Л.: Энергия, 1974. – 264 с.
2. Бровкин Л.А. Температурные поля тела при нагреве и плавлении в промышленных печах / Л.А. Бровкин. – Иваново: ИЭИ, 1973. – 364 с.
3. Бруйка В.А. Инженерный анализ в ANSYS Workbench: учеб. пособие / В.А. Бруйка, В.Г. Фокин, Я.В. Кураева. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2013. – 149 с.
4. Басов К.А. Графический интерфейс комплекса ANSYS / К.А. Басов. – М.: ДМК Пресс, 2006. – 248 с.

УДК 532.72 : 546.05

### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭКСТРАКЦИОННОГО ПРОЦЕССА В ПЕТЛЕВОМ ЭКСТРАКТОРЕ**

МУХАМЕДЖАНОВ А.И., ХАЛИУЛЛИН А.Ф., КНИТУ-КАИ, г. Казань  
Науч. рук. д-р техн. наук, проф. КРЮКОВ В.Г.

Для практического применения предложенной в работе [1] математической модели прогнозирования характеристик экстрактора типа «Crown-Model» было необходимо провести экспериментальные исследования. Методика их проведения определена в работе [2], а собственно эксперименты были выполнены на Казанском масло-экстракционном заводе и кафедре автомобильных двигателей и сервиса

(АДиС) КНИТУ-КАИ. В экспериментах использовалась следующая аппаратура: весы электронные ACCULAB Vicon, ЯМР-анализатор АМВ-1006 М, рефрактометр ИРР-454Б2М, устройство перемешивания с нагревом ЛАБ-ПУ-01 и др.

В частности, в экспериментах было необходимо определить вертикальную скорость мисцеллы через слой жмыха. Для этого была создана автономная установка, диаметр мерного цилиндра ( $D = 87$  мм) которой выбирался из условия исключения влияния его стенок на характер истечения. Высота жмыха варьировалась в пределах 200–800 мм, что соответствует параметрам промышленного экстрактора. Внизу мерного цилиндра располагаются кран рабочий  $K_0$  с диаметром 20 мм и кран резервный  $K_P$  с диаметром 30 мм. Применение двух кранов  $K_0$ ,  $K_P$  было необходимо для обеспечения требуемого гидравлического сопротивления.

Полученные экспериментальные данные по вертикальной скорости будут учтены при модификации физической схемы изучаемого процесса.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и правительства Республики Татарстан (Грант № НК 13-08-97070/14).

## Литература

1. Крюков В.Г. Математическая модель массообмена в противоточных пересекающихся потоках жидкости и пористой среды / В.Г. Крюков, А.И. Мухамеджанов // Труды Академэнерго. – 2015. – № 3. – С. 17–38.

2. Крюков В.Г. Отчёт о научно-исследовательской работе по государственному контракту / В.Г. Крюков, А.И. Мухамеджанов и др. – № 15-48-02454/2015, РФФИ-АНТ «Поволжье».

УДК 620.92

## **ПЕРСПЕКТИВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕНЕРАТОРНОГО ГАЗА, ПОЛУЧЕННОГО ПУТЕМ ГАЗИФИКАЦИИ ВОДОУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЭНЕРГИИ**

НИЗАМОВ И.С., ГАЙНЕТДИНОВ А.В., КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. д-р техн. наук, проф. МИНГАЛЕЕВА Г.Р.

В последние годы Россия занимает лидирующие позиции по запасам и объемам добычи сырой нефти, природного газа и энергетического угля. В общем объеме потребления нефти и газа в странах Европы на российскую продукцию приходится 30 %.

Энергетическая стратегия России на период до 2030 года предусматривает развитие угольной энергетики на базе новых экологически чистых технологий использования угля, одной из которых является газификация водоугольного топлива (ВУТ) с последующим сжиганием генераторного газа.

В качестве объекта для сжигания рассматриваются водоугольные суспензии, представляющие собой смесь угольной пыли и воды, которые являются жидким топливом.

Водоугольное топливо на сегодняшний день является перспективным энергоресурсом. Это альтернатива замены в промышленной энергетике такого жидкого топлива, как мазут.

Были выбраны газы, которые получены при газификации водоугольных топлив на основе Кузнецкого угля и Ирша-Бородинского. В состав газов входят монооксид углерода (СО), водород (Н<sub>2</sub>), метан (СН<sub>4</sub>), диоксид углерода (СО<sub>2</sub>) и вода (Н<sub>2</sub>О).

Определялась теплотворная способность газов Кузнецкого ВУТ, которая составила при температуре 1000 К – 2673,56 ккал/м<sup>3</sup>, 1300 К – 2686,05 ккал/м<sup>3</sup>, 1700 К – 2697,2 ккал/м<sup>3</sup>, а Ирша-Бородинского ВУТ: при 1000 К – 1714,475 ккал/м<sup>3</sup>, 1300 К – 1718,747 ккал/м<sup>3</sup>, 1700 К – 1717,57 ккал/м<sup>3</sup>.

Проведен расчет эффективности работы ГТУ-2,5П на генераторных газах, полученных при газификации ВУТ.

УДК 620.92

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ КОТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ НАГРЕВА ВОДЫ, ПОДАВАЕМОЙ ПОТРЕБИТЕЛЮ**

НИКОЛАЕВ А.В., ПНИПУ, г. Пермь

Освоение вторичных энергетических ресурсов является стратегической задачей, определяющей перспективы устойчивого развития многих стран в условиях постепенного истощения запасов ископаемого органического топлива и возникающих угроз все большего антропогенного загрязнения окружающей среды. К таким источникам энергии можно отнести дымовые газы, образующиеся в процессе работы котельных установок. Тепловая энергия дымовых газов в основном используется

в экономайзерах для увеличения КПД котла. При этом температура исходящей из котельной установки воды (прямой воды) должна составлять 130–150 °С, а обратной – 70 °С (ГОСТ 21563-93).

Довольно часто возникают ситуации, когда с котельной установки необходимо подавать воду температурой гораздо меньше установленной, т.е. и температура обратной воды будет ниже установленной правилами. Например, для работы системы нагрева шахтного воздуха (СНШВ) в весенне-осенний период температура прямой воды должна составлять  $\approx$  70–80 °С, а обратной – 40–50 °С. При подаче воды с требуемыми температурными параметрами (150/70 °С или 130/70 °С) в СНШВ наблюдается значительный перерасход энергоресурсов.

С целью использования тепловой энергии дымовых газов была разработана система автоматизированной подачи воды потребителю (патент № 2557156 // Николаев А.В., Цаплин А.И., Алыменко Н.И., Николаев В.А. – опубл. 20.07.2015). В предложенной системе вода нагревается в резервуаре теплообменником, по которому поступают дымовые газы. Для повышения эффективности нагрева (турбулизации) в резервуаре расположены пневматический перемешиватель и пропеллерная мешалка. Нагретая в резервуаре вода и прямая вода поступают в камеру смешения. После смешивания вода приобретает требуемое значение температуры. Обратная вода используется для собственных нужд предприятия.

Разработанная система позволит не только снизить энергозатраты на нагрев воды, обеспечить в ресурсосберегающем режиме работу различных потребителей, но и уменьшить вредные выбросы в атмосферу.

УДК 628.3

## **ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ОТ ПРИОРИТЕТНЫХ ЗАГРЯЗИТЕЛЕЙ В АО «КВАРТ»**

НИКОНОВА А.О., ГАЛИШИНА И.А., ОГУРЦОВ Д.В., КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. канд. техн. наук, доц. ОСИПОВ А.Л.

На предприятии АО «КВАРТ» существует две системы канализации: производственно-ливневая и хозяйственно-бытовая. Источником производственно-ливневых сточных вод служат цеха основного производства и атмосферные стоки.

Производственные стоки предприятия получают после охлаждения оборудования, от закрытого охлаждения в сеть хозяйственно-бытовой канализации отводятся стоки от бытовых помещений и технологического оборудования.

Очистные сооружения проектной производительностью 1000 м<sup>3</sup>/час служат для очистки производственно-ливневых вод предприятия, которые перетекают на установке непрерывного действия по следующей схеме: ливнеприемники – ливневая канализация – приемный резервуар – насосная станция – очистные резервуары – накопительные емкости – обратное водоснабжение предприятия.

Атмосферные стоки совместно с производственными сточными водами сбрасываются при помощи системы промышленно-ливневой канализации в приемный резервуар насосной станции.

При помощи насосов промышленно-ливневые воды по системе трубопроводов подаются в очистные резервуары, где производится их очистка от взвешенных веществ и нефтепродуктов. Очистные резервуары представляют собой металлические цилиндрические емкости закрытого типа диаметром 3 м с загрузкой кварцевым песком и высотой рабочей зоны 2 м; крупность фракций загружаемого песка – 1–2 мм, высота поддерживающего гравийного слоя – 0,25 м. Очищенные воды подаются самотеком в два последовательно соединенных накопительных отстойника, представляющих собой железобетонные резервуары емкостью по 500 м<sup>3</sup> каждый.

Очищенные воды подаются из накопительных емкостей насосами на пополнение системы оборотного водоснабжения для хозяйственных нужд предприятия. Кварцевый наполнитель периодически промывается при помощи воздуха и воды. За счет перекрытия задвижки на стоке очищенных вод, последняя движется сквозь песок в обратном направлении. Для интенсивности промывки применяется механическое перемешивание сжатым воздухом. Промывочные воды поступают в отстойник на 45–60 минут; уловленные в ловушках масла и нефтепродукты собираются в емкости для вторичной переработки и используются при приготовлении сырых резиновых смесей.

Для совершенствования системы очистки нами в технологической схеме предусмотрено использование цеолитсодержащих материалов, обладающих высокой сорбционной способностью по отношению к природным загрязнителям водной среды.

УДК 622.276.245.5

## **ПЕРЕРАБОТКА ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ ТЭЦ**

ОГУРЦОВ Д.В., САБИРОВ Л.Р., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. ОСИПОВ А.Л.

Известно, что золошлаковые отходы (ЗШО) являются источником повышенной экологической опасности и оказывают негативное воздействие на население и окружающую среду, а также являются причиной отчуждения земель, которые практически безвозвратно изымаются из полезного использования. В то же время ЗШО обладают определенными физико-химическими свойствами, в том числе и вновь приобретенными, которые при определенных технологических возможностях, можно реально и экономически целесообразно использовать в народном хозяйстве. По сути, ЗШО являются вторичными ресурсами сырьевого значения, т.е. их можно рассматривать как техногенные месторождения полезных ископаемых (ТМПИ). За все прошедшее время накопилось около 1,3 миллиардов тонн ЗШО. В настоящее время на ТЭЦ и ГРЭС России ежегодно образуется более 30 миллионов тонн ЗШО. Фактически в настоящее время эта проблема практически не решается, степень утилизации этого вида отходов крайне низка. В основном технологический процесс утилизации ЗШО ограничивается производством стеновых шлакоблоков и тротуарной плитки. Извлечение полезных компонентов и полная утилизация золошлаковых отходов за счет использования их положительных свойств и производства строительных материалов позволяют высвободить занимаемые площади и снизить негативное воздействие на окружающую среду. Затраты на переработку техногенного сырья с получением продукции и одновременной нейтрализацией отходов могут быть выше стоимости продукции, но убыток в этом случае не превышает затрат на снижение негативного воздействия отходов на окружающую среду. А для энергетических предприятий утилизация золошлаковых отходов – снижение технологических расходов на основное производство.

УДК 624.365

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФИЛЬТРАЦИИ НА ПРОЦЕСС НАГРЕВА НАСЫПНЫХ САДОК В ТЕРМИЧЕСКИХ ПЕЧАХ**

ПОТЕХИН А.Е., АКИМОВА М.А., ИГЭУ, г. Иваново  
Науч. рук. канд. техн. наук, доц. КОЛИБАБА О.Б.

В задачу данного исследования входило изучение влияния фильтрации газа на процесс нагрева насыпных садок [1, 2] в термических печах.

Целью исследования являлись экспериментальное определение температурного поля насыпной садки при различных режимах фильтрации и оценка энергетической эффективности нагрева садки на основе теплового баланса рабочего пространства печи.

В ходе лабораторного эксперимента в рабочее пространство предварительно разогретой до 1000 °С камерной электрической печи помещали насыпную садку в металлическом контейнере с отверстиями. Фильтрация организовывалась за счет подачи в рабочее пространство печи предварительно нагретого воздуха. В ходе эксперимента фиксировались температуры в 4-х характерных точках садки, температура печи, скорость и расход воздуха.

В соответствии с параметрами качества нагрева металла нагрев заготовок происходил до температуры 900 °С. Конечный температурный перепад между поверхностью и центром садки составил 10 °С.

Была проведена серия экспериментов по нагреву насыпных садок из изделий различной номенклатуры без фильтрации и с фильтрацией теплоносителя. Проведенный анализ результатов позволяет сделать вывод, что удельные затраты энергии на нагрев садки при наличии фильтрации снижаются. Это зависит от скорости фильтрации и порозности садки.

### Литература

1. Пуговкин А.У. Рециркуляционные пламенные печи / А.У. Пуговкин. – Л.: Машиностроение, 1975. – 200 с.
2. Бровкин Л.А. К решению задач теплопроводности в пористом теле / Л.А. Бровкин // Известия ВУЗов. Энергетика. – 1987. – № 2. – С. 63–67.

УДК 628.3:621.311

## **РАЗРАБОТКА УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ НИЖНЕКАМСКОЙ ТЭЦ**

САБИРОВ Л.Р., НИКОНОВА А.О., ОГУРЦОВ Д.В., КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. канд. техн. наук, доц. ОСИПОВ А.Л.

Проблема утилизации промышленных отходов является актуальной, поскольку в настоящее время на промышленных предприятиях сложилось значительное количество отходов на потребление, которые в то же время могут стать ценным сырьем для различных отраслей предприятий и сельского хозяйства.

Переработка отходов связана с большими энергетическими затратами и является целесообразной в том случае, если в них содержатся ценные вещества.

Существует два основных пути борьбы с нарастающей массой твердых отходов: сжигание и переработка. Утилизация жидких промышленных отходов может производиться с помощью сорбционного метода. К нему относится цеолитовый фильтр, который отличается низкой стоимостью процедуры, но при этом качественным и быстрым разделением эмульсий.

УДК 620.9:662.92

## **ИССЛЕДОВАНИЕ РАСТЕКАНИЯ ЖИДКОСТИ В ГАЗОВОМ ПРОСТРАНСТВЕ СТРУЙНО-БАРБОТАЖНОГО КОНТАКТНОГО УСТРОЙСТВА**

САЛИМХАНОВ М.М., КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. канд. техн. наук, доц. ШАРИПОВ И.И.;  
канд. техн. наук, доц. ДМИТРИЕВА О.С.

На тепловых электростанциях значительную роль в ряде технологических процессов играют массообменные аппараты. Одним из наиболее эффективных способов энергосбережения является модернизация таких аппаратов, которая заключается в использовании современных высокоэффективных контактных устройств взамен устаревших. В последние годы появились разнообразные конструкции таких устройств, которые отличаются достаточно высокой тепломассообменной

эффективностью. Однако зачастую предлагаемые конструкции обладают либо повышенным гидравлическим сопротивлением, либо сложны в изготовлении и ремонте.

Разработано новое струйно-барботажное устройство для контакта газа и жидкости, способное обеспечить наиболее эффективные и интенсивные гидродинамические режимы с минимальным гидравлическим сопротивлением. Научная новизна конструкции подтверждена патентом РФ № 156379. Проведен анализ взаимодействия стекающей струи жидкости с обтекающим ее потоком газа при различных углах направления движения. Экспериментальные исследования показали, что гидродинамическая структура двухфазного потока в предлагаемых контактных элементах весьма эффективна, так как образуется большое количество мелких газовых пузырей, причем в конструкции отсутствуют подвижные элементы, наблюдается полное перемешивание в жидкой фазе и, соответственно, нет застойных зон. Кроме того, стоит отметить, что найденные параметры распределения газовых пузырей дают возможность произвести подбор оптимальных конструктивных и режимно-технологических критериев предлагаемого контактного устройства. Выполненные исследования показали, что использование струйно-барботажных контактных устройств позволит создавать энергосберегающие и энергоэффективные аппараты.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках научного проекта № 16-38-60081 мол\_а\_дк.

УДК 621.32

## **АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СВЕТИЛЬНИКА ПРИ ЗАМЕНЕ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ЛАМП НА СВЕТОДИОДНЫЕ**

САЛИХОВ А.Ф., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. ГУСЯЧКИН А.М.;

ст. преп. ИГОШИН В.А.

На освещение в России расходуется 10–13 % от общего потребления электроэнергии. На промышленность приходится 29 %, жилищный сектор – 26 %, административные и общественные здания – 20 %, уличное освещение – 12 % всего объема расходуемой электрической энергии на освещение. Таким образом, 80–90 % электроэнергии на нужды освещения расходуется на территории городов и населенных пунктов.

В организации энергоэффективного освещения объектов производственной и непроизводственной сфер имеется значительный потенциал энергосбережения за счет перехода к такому освещению, в том числе к использованию светодиодных источников оптического излучения.

Нами произведен анализ замены люминесцентных ламп со световым потоком 205 лк и потребляемой мощностью 82 Вт на светодиодные в стандартных светильниках типа «Армстронг». Для этого была собрана лабораторная установка, в которую вошли следующие элементы: светильник типа «Армстронг», автотрансформатор, измерительный комплекс К-505 и люксметр-пульсметр ТКА-ПКМ.

В результате выполнения экспериментов было выявлено, что при непосредственном подключении светодиодных ламп к источнику энергии величина светового потока составила 210 лк.

Проведены исследования влияния параллельной индуктивной нагрузки на показатели работы светодиодных источников оптического излучения. В качестве индуктивной нагрузки были использованы стандартные дроссели из люминесцентных светильников. При параллельном подключении дросселей световой поток увеличился до 255 лк.

Таким образом:

1) при замене люминесцентных ламп на светодиодные световой поток светильника увеличился на 50 лк, а потребляемая мощность снизилась с 82 Вт до 46 Вт;

2) параллельное подключение индуктивной нагрузки в схему питания светодиодных источников позволяет повысить световой поток при неизменном потреблении электрической мощности.

УДК: 62-63

## **ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ВЫСОКОГО КАЧЕСТВА**

САНДАКОВ И.М., ВСГУТУ, г. Улан-Удэ  
Науч. рук. д-р техн. наук, проф. БУЯНТУЕВ С.Л.

Сегодня во всем мире остро стоит проблема энергосбережения. В РФ на данный момент действует Федеральная программа «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности до 2020 года». Одной из причин высокого энергопотребления является

обилие использования теплоизоляционных материалов низкого качества, в том числе экологически небезопасных.

Частичным решением этих проблем могут стать установка (рис. 1) и технология для получения минеральной ваты и теплоизоляционного материала на основе базальта, золошлаков и их смесей, особенностями которых являются: низкие энергозатраты, необходимые для получения минерального волокна ( $1,1-1,3 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$  на  $1 \text{ кг}$  в диапазоне температур  $1500-2000 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $d_{\text{ср}} = 8 \text{ мкм}$ ) и изделий в виде ваты, ковров, плит и прочих строительных материалов на основе регулирования температуры, текучести и вязкости расплава.

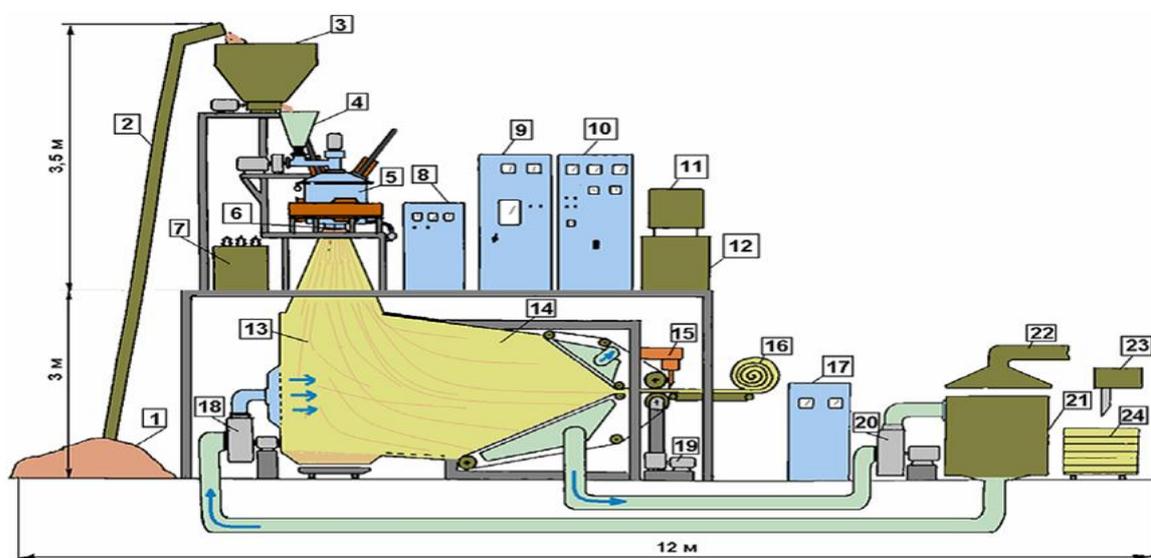


Рис. 1. Схема производственной линии по выпуску теплоизоляционных материалов из природного и техногенного сырья: 1 – сырьевая крошка; 2 – конвейер для подачи крошки; 3 – бункер; 4 – питатель сырьевой крошки; 5 – электромагнитный технологический реактор; 6 – раздувочное устройство; 7 – трансформатор; 8 – регулятор напряжения; 9 – пульт управления; 10 – пульт автоматики; 11 – блок коммутирующей аппаратуры; 12 – резисторы; 13 – камера волокнообразования; 14 – осадительная камера с транспортерами формирования холста; 15 – резак поперечный; 16 – устройство намотки холста; 17 – блок управления; 18 – вентилятор дутьевой; 19 – редуктор транспортера; 20 – дымосос; 21 – камера-укладчик; 22 – вакуумный укладчик; 23 – резак продольный; 24 – тележка

Разработанная в научно-исследовательской лаборатории «Плазменные и энергетические технологии» учеными технология позволяет получать на основе золошлака и базальта теплоизоляционное волокно высокого качества, соответствующего ГОСТам при минимальных энергозатратах.

УДК 620.9

## **АНАЛИЗ, СИНТЕЗ И ОПТИМИЗАЦИЯ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ**

САФИНА А.Р., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. БАЛЬЗАМОВ Д.С.

Анализ и синтез систем энерготехнологического комбинирования на действующих предприятиях без существенного изменения конструкций установленного технологического оборудования имеют ряд особенностей:

– технологический комплекс и системы его энергообеспечения уже сложились, и образованы устойчивые связи между источниками и потребителями энергоресурсов;

– на крупных промышленных объединениях выпуск продукции может осуществляться на различных предприятиях, которые располагаются на значительном удалении друг от друга, поэтому транспортировка вторичных энергоресурсов (особенно низкопотенциальных) с одной стадии производства к потребителю (на другой) оказывается экономически невыгодной;

– при установке нового оборудования, изменении режимов его работы или преобразовании конфигурации технологической линии неизбежно будут происходить отклонения режимов работы всех зависимых элементов и систем.

Каждое промышленное предприятие как объект исследования имеет индивидуальные характеристики, поэтому нельзя переносить однажды принятый комплекс мероприятий без специального анализа и корректировки на новые условия.

На основе первичной информации об объекте последовательно проводятся:

– анализ границ системы, а также диапазонов допустимых значений входных и выходных параметров системы;

– структурный анализ;

– математическое описание системы;

– синтез нового объекта;

– сравнительный анализ эффективности деятельности исходного и синтезированного объекта по одному или нескольким выбранным критериям.

УДК 544.431.7

## СОКРАЩЕНИЕ МЕХАНИЗМОВ РЕАКЦИЙ ДЛЯ УСЛОВИЙ УГЛЕВОДОРОДНОГО САМОВОСПЛАМЕНЕНИЯ ТОПЛИВ

САФИУЛЛИН И.И., КНИТУ-КАИ, г. Казань  
Науч. рук. д-р техн. наук, проф. КРЮКОВ В.Г.

Техника сокращения механизмов реакций, ранее разработанная для единичного реактора идеального смешения [1], распространяется на случай воспламенения топливных смесей. Уравнения изменения состава представляются в экспоненциальной форме [1].

Начальными данными для редуцирования являются: заданная область сокращения по  $\alpha_{ox}$  (коэффициент избытка окислителя),  $T_0$ ,  $P$ ; «полный» механизм реакций, который требуется сократить; набор веществ, обязательно учитываемых в сокращенном механизме: реагенты, основные продукты сгорания и др.; значения коэффициентов редукции (пороги) и минимально учитываемые концентрации.

К каждой точке сокращения применяются 3 последовательные процедуры: метод «зацепления» с формированием первого сокращенного механизма; его анализ и исключение несущественных веществ с формированием промежуточного сокращенного механизма; влияние каждого  $i$ -го вещества на основные характеристики процесса, и если это влияние мало, то  $i$ -ое вещество и соответствующие реакции исключаются; анализ промежуточного механизма и исключение несущественных реакций с формированием окончательного сокращенного механизма.

Предложенная техника сокращения была применена для реагирующей системы «СН<sub>4</sub> + воздух» в области изменения параметров:  $T = 1600\text{--}2400$  К;  $P = 1$  атм.;  $\alpha_{ox} = 0,7\text{--}1,4$ . Исходный механизм содержал 131 реакцию.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (Грант № НК 13-08-97070\14).

### Литература

1. Крюков В.Г. Метод поэтапного сокращения механизма реакций для сложных реагирующих систем / В.Г. Крюков, А.Л. Абдуллин, И.И. Сафиуллин // Вестник казанского технологического университета. – 2014. – Т. 17. – № 11. – С. 168–173.

УДК 658.26

## **ПРАВИЛЬНАЯ БАЛАНСИРОВКА – КЛЮЧЕВОЙ АСПЕКТ ПОСТРОЕНИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ СИСТЕМ ТЕПЛО- И ХОЛОДОСНАБЖЕНИЯ**

СЕМЕНОВА О.Д., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. ФЕТИСОВ Л.В.

Одной из основных задач проектирования и эксплуатации централизованных систем тепло- и холодоснабжения зданий является гидравлическая увязка, обеспечивающая сбалансированную и равномерную подачу тепла (холода) в обслуживаемые помещения при наименьших энергозатратах. С другой стороны, в помещениях необходимо поддерживать наиболее комфортную для конечного потребителя температуру. Особенно актуальна эта проблема для больших жилых комплексов с огромным числом автономных потребителей, каждому из которых нужно предоставить возможность самостоятельного управления температурой в помещениях. Наиболее эффективным способом решения подобной задачи является использование универсальных автоматических балансировочных клапанов.

Для сектора жилой, офисной и гостиничной недвижимости оптимальным вариантом являются системы комбинированного тепло- и холодоснабжения с применением в качестве конечных устройств двух- или четырехтрубных фэнкойлов. В этом случае проблема балансировки становится еще шире – теперь ее нужно решать как для отопительного контура здания, так и для контура холодоснабжения.

Использование автоматических балансировочных клапанов позволяет строить системы регулирования различной сложности. Например, это могут быть простые системы, в которых управление расходом осуществляется непосредственно с комнатного термостата (контроллера), установленного в одном помещении с фэнкойлом. Другая возможная реализация – система с централизованной диспетчеризацией, где контроль и управление температурой воздуха осуществляются оператором или автоматикой. Такое решение дает возможность минимизировать энергопотребление здания в часы отсутствия людей в помещениях, при этом позволяет поддерживать комфортный температурный режим в рабочие часы.

Без сомнения, использование автоматических балансировочных клапанов – это одно из наиболее прогрессивных решений в области проектирования современных систем тепло- и холодоснабжения.

УДК 621.321

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛО- И МАССООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В СЛОЕ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ ПРИ ИХ ТЕРМИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ В РЕАКТОРЕ ШАХТНОГО ТИПА**

СКВОРЦОВ И.А., ИГЭУ, г. Иваново

Науч. рук. канд. техн. наук, проф. ГОРИНОВ О.И.

Сравнительный анализ большого количества методов переработки отходов привел к выводу о том, что наиболее выгодным, с точки зрения энерго- и ресурсосбережения, является метод термической переработки органических масс, основанный на процессах пиролиза и газификации. Термическая деструкция отходов, согласно рассматриваемому методу, представляет собой три взаимосвязанных процесса: сушки и пиролиза перерабатываемой массы с последующей газификацией твердого углеродистого остатка.

Для осуществления возможности практического применения рассматриваемого метода нами были разработаны проекты различных термических реакторов, одним из которых является термический реактор шахтного типа.

Для создания промышленного образца такой установки необходимо изучить протекающие в ней тепломассообменные процессы. Исследование этих процессов целесообразно производить путем моделирования с применением современных средств вычислительной техники.

Основной особенностью задачи является то, что перерабатываемый слой имеет неоднородную пористую структуру и не может быть описан математически.

Для решения поставленной задачи в качестве модели слоя твердых бытовых отходов (ТБО) была использована фрактальная структура – губка Менгера (трехмерный аналог ковра Серпинского). Моделирование производилось в программно-вычислительном комплексе ANSYS с применением графического редактора Solid-Works.

Разработанная модель была верифицирована сравнением результатов, полученных на модели, с данными лабораторного эксперимента сушки слоя ТБО.

На основании полученных данных можно сказать о том, что нами была разработана адекватная модель, позволяющая изучить тепло- и массообменные процессы, протекающие в слое ТБО при их термической переработке в реакторе шахтного типа.

УДК 665.6(035)

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ СВЕРХВЫСОКИХ ЧАСТОТ ЭНЕРГИИ НА ПРОМЫСЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕФТИ**

СМИРНОВ С.В., ВЕДЕНЬКИН Д.А., КНИТУ-КАИ, г. Казань

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

Целью данной работы является исследование воздействия электромагнитного поля (ЭМП) сверхвысоких частот (СВЧ) диапазона на промысловые характеристики нефти. Одной из основополагающих характеристик нефти и водонефтяных эмульсий (ВНЭ) является динамическая вязкость, от которой зависит работа технологических трубопроводов и насосов, отстойных аппаратов, регулирующей и методологической аппаратуры.

Добываемая из скважин нефть, как правило, представляет собой дисперсную систему, образованную двумя нерастворимыми друг в друге жидкостями (нефтью и водой).

Опыты по определению вязкости проводились на ротационном вискозиметре, который используется для определения реологических (т.е. физических) свойств жидких и полутвердых веществ. Эксперименты проводились в 3 этапа:

1. Отбирались несколько проб безводной нефти, ВНЭ (обводненность 20 %), объемом 100 мл.
2. Отобранные пробы последовательно подвергались СВЧ нагреву.
3. Все пробы заливались в вискозиметр, и определялась вязкость при различных температурах.

Исследования показали, что в диапазоне температур от 30 до 70 °С после СВЧ-нагрева вязкость значительно изменяется. При одних и тех же температурах после обычного СВЧ нагрева вязкость изменяется: у безводной нефти почти в два раза на низких температурах, у ВНЭ (обводненность 20 %) – незначительно. Это говорит о влиянии СВЧ нагрева на вязкостные характеристики нефти. Учитывая то, что нефть в термостате приходилось греть значительно дольше, чем в СВЧ установке, выигрыш происходит во времени нагрева. Малое время нагрева безводной нефти и ВНЭ СВЧ модулем, а также высокая воспроизводимость получаемых результатов по сравнению с обычным нагревом позволяют высоко оценить перспективу создания как отдельных модулей нагрева для лабораторий, так и сети стационарных и мобильных модулей групповых замерных установок (ГЗУ), дожимных насосных станций (ДНС) и т.д.

УДК 628.87

## **СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МИКРОКЛИМАТОМ ПОМЕЩЕНИЙ**

СТАРИКОВ П.В., МарГУ, г. Йошкар-Ола  
Науч. рук. канд. техн. наук, доц. СОЛОВЬЁВ В.Г.;  
канд. техн. наук, доц. ОРЛОВ А.И.

Непрекращающийся рост стоимости тепловой энергии и стремление к повышению качества жизни вызывают необходимость в энерго-сбережении. Традиционно регулирование параметров микроклимата в помещениях осуществляется вручную путем проветривания, что приводит к избыточному потреблению тепловой энергии. Однако при отсутствии проветривания высокая концентрация углекислого газа, выделяемого в процессе дыхания, может снижать работоспособность и ухудшать самочувствие людей.

Предлагаемое решение обозначенной проблемы – разработка и внедрение автоматической системы управления микроклиматом помещений. В отличие от известных аналогов, система избирательно влияет на все основные параметры микроклимата: температуру, влажность и содержание углекислого газа. Система управления содержит контроллер, интерфейс пользователя, датчики содержания углекислого газа в воздухе, влажности и температуры, исполнительный механизм регулирования воздухообмена, исполнительный механизм регулирования расхода теплоносителя. При этом с целью энергосбережения и создания оптимального микроклимата контроллер воздействует на механизм регулирования воздухообмена для минимизации содержания углекислого газа и влажности воздуха в помещении, а также на механизм регулирования расхода теплоносителя для поддержания средней температуры воздуха в помещении в заданных пределах. Для считывания сигналов с датчиков и управления исполнительными механизмами составлена программа для микроконтроллера.

Создан экспериментальный образец предлагаемой системы управления. Анализ результатов ее работы показывает, что в ряде случаев система позволяет сократить удельную стоимость отопления исследуемого помещения на 80 % и более по сравнению с традиционным способом регулирования при сохранении параметров микроклимата в заданных пределах. Дальнейшие исследования направлены на доработку и упрощение системы, а также на ее адаптацию для помещений различных типов.

УДК 620.9

**БИОГАЗ – АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ**

СТОЛЯРОВА Е.Ю., КГЭУ, г. Казань

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

канд. техн. наук, доц. КОТЛЯР М.Н.

Во второй половине XX столетия перед человечеством восстала глобальная проблема – загрязнение окружающей среды продуктами сгорания органического топлива и высокие темпы истощения природных ресурсов. Поэтому производство биотоплива является чрезвычайно актуальным на сегодняшний день вопросом.

В работе практикуется выработка биогаза из продуктов жизнедеятельности крупного рогатого скота при добавлении в них органических отходов в различных соотношениях, путем анаэробного сбраживания.

Лабораторная установка представляет собой стеклянные сосуды, погруженные на 60–70 % в воду, в каждый из которых в помещен биоэнергетический субстрат, и цилиндры, соединенные с сосудами патрубками. По мере разложения биоэнергетического субстрата происходит выработка биогаза, который выталкивает воду, заполняющую цилиндр.

Выработка биогаза начинается в среднем на 3–5 день. Это зависит, в первую очередь, от состава исходного субстрата, т.е. соотношения белков, жиров и углеводов, содержащихся в каждом отдельном его составляющем, а также от «стартового толчка», в качестве которого выступает температура воды, снаружи обволакивающая сосуды с исходным веществом.

Опыт показал, что наибольший результат дают те сосуды, состав которых сбалансирован, где присутствует мел, а количество органики превышает другие составляющие. Органика способствует большему выходу кислот – источнику питания метанобразующих бактерий, а мел (в качестве которого мы использовали яичную скорлупу, что является элементом новизны), тем временем, стабилизирует режим протекания процесса, делая его близким к нейтральному.

Полученные результаты свидетельствуют о перспективном использовании биогаза на фермах, а отреагировавший субстрат можно без какой-либо подготовки вносить в почву сельскохозяйственных угодий в качестве минерального удобрения.

УДК 621.314

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ СВОЙСТВ ЦЕМЕНТНО-СТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ

СУНГАТУЛЛИН Р.Г., ТЫТАГИН А.М., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р хим. наук, проф. КЛЮЧНИКОВ О.Р.

Цель работы – изучение теплоизоляционных свойств цементно-стружечной плиты, возможностей их применения, исследование преимуществ и недостатков. Цементно-стружечные плиты (ЦСП) состоят из экологически чистых материалов, в том числе 60 % – дерево, 39,8 % – портландцемент М500 и 0,2 % – жидкое стекло. В составе плит отсутствуют вредные или опасные вещества. ЦСП – строительный материал, состоящий из длинных волокон древесной шерсти (до 250 мм), уложенных в плите в строго горизонтальной плоскости и склеенных между собой цементным раствором, т.е. в своей основе это длиноволокнистый материал.

Цементно-стружечные плиты обладают высокой пожарной безопасностью и относятся, в части соответствия требованиям пожарной безопасности: по горючести – к группе Г1 (слабогорючие, не поддерживающие горение); по токсичности продуктов горения – к группе Т1 (малоопасные, отсутствие ядовитых веществ при горении); по воспламеняемости – к группе В1 (трудновоспламеняемые); по распространению пламени – к группе РП1 (нераспространяющие); по дымообразующей способности – к группе Д1 (малая). Коэффициент теплопроводности  $\lambda$  зависит от состава материала и колеблется от 0,059 до 0,130 Вт/м·°С.

Применение:

1. Плиты с низкой плотностью считают теплоизоляционным материалом. Они подходят для строительства различных зданий и сооружений.

2. Плита средней плотности служит звукоизоляционным материалом для дорог или несъемных опалубков.

3. Плиты, имеющие высокую плотность, необходимо использовать как ограждения и конструкционный материал здания и сооружения.

В результате работы были получены значения коэффициента теплопроводности  $\lambda = 0,091$  Вт/м · К образца цементно-стружечной плиты.

УДК 628.168.3

## **ПОДГОТОВКА ВОДЫ ДЛЯ ТЕПЛОСЕТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНГИБИТОРА**

СУНГАТУЛЛИН А.Р., КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. канд. техн. наук, доц. КОТЛЯР М.Н.

Целью работы в рамках магистерской диссертации является сравнение эффективности применения ингибитора коррозии и отложений NALCOCL-50 для теплосетей по сравнению с отечественными ингибиторами.

Актуальной проблемой, возникающей в результате эксплуатации систем теплоснабжения и центральных систем горячего водоснабжения, является использование устаревшего водно-химического режима (ВХР), который приводит к следующим последствиям:

- образованию отложений различной природы на поверхностях нагрева;
- коррозионным процессам с повышенной интенсивностью;
- увеличению железосодержания сетевой воды.

Совершенствование методов водоподготовки и водно-химических режимов является необходимым условием дальнейшего повышения надежности и экономичности работы теплосилового оборудования и, следовательно, электростанции в целом.

В настоящее время ингибиторов, предлагаемых для коррекционной обработки подпиточной воды теплосети, достаточно много – импортных и отечественных, а также отечественных, изготовленных в России из импортного сырья.

Каждый производитель пытается использовать новые технологические процессы и комбинацию существующих ингибиторов для получения качественно другого продукта. Именно поэтому ингибиторы различных производителей отличаются формой выпуска (водный раствор или порошок), химическим составом и, следовательно, качеством. В основном это пленкообразующие ингибиторы, активным веществом которых являются фосфоорганические кислоты или соли этих кислот (фосфонаты). Ингибитором коррозии может служить как одно соединение, так и композиция из нескольких химических соединений.

Действующими веществами NALCOCL-50 являются триполифосфат и полифосфат натрия.

Ингибитор  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ -50 уменьшает образования железноокисных отложений в сетевой воде, что защищает оборудование и трубопроводы от внутренней коррозии. Кроме того, наблюдается снижение агрессивности и коррозионной активности сетевой воды.

УДК 621.314

## **РАЗРАБОТКА ДВУХЭТАПНОГО МНОГОИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРО- И МАГНИТОПОЛЕВОГО АКТИВИЗАТОРА ТОПЛИВОВОЗДУШНОЙ ГОРЮЧЕЙ СМЕСИ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ**

ТЕРЕНТЬЕВ Ф.А., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. КАПАЕВ В.И.

Общим методологическим принципом решения проблемы радикального топливосбережения в двигателях внутреннего сгорания (ДВС) является системный подход, в соответствии с которым процессы подготовки, активизации и эффективного, экологически чистого сжигания топлив, водо-топливных эмульсий и разнообразных топливовоздушных смесей являются взаимозависимыми и поэтому должны рассматриваться и решаться в комплексе, согласно известным аксиомам:

1. Чем более активны топливо и кислород воздуха, естественный окислитель, тем полнее сгорание топливовоздушной смеси, а значит экономичнее, экологически чище и мощней ДВС. И, в частности, чем более активен кислород воздуха, естественный окислитель, тем быстрее и полнее сгорание воздушно-топливной смеси, а значит экономичнее, экологически чище и мощней ДВС.

2. Топливоздушная горючая смесь для питания ДВС – это хорошо перемешанное топливо с воздухом. Поэтому эффективность горения топливовоздушной горючей смеси в ДВС во многом определяется организацией высокоэффективного процесса ее смесеобразования.

В соответствии с этим, предлагается наиболее эффективный, технически и экономически целесообразный двухэтапный способ воздействия электрического и магнитного полей на процесс образования топливовоздушной горючей смеси двигателей внутреннего сгорания. Это принципиально отличительный признак данного способа.

Для реализации двухэтапного способа активизации топливовоздушной горючей смеси в состав активизатора предлагается включить два блока: блок электрополевого ионизатора-активатора кислорода воздуха и блок магнитополевого активатора топлива и смесителя компонентов горючей смеси.

Блок электрополевого ионизатора-активатора кислорода воздуха осуществляет предварительную ионизацию поступающего в камеру сгорания кислорода воздуха многоимпульсным электрическим полем, синхронизированным с тактами поступления воздуха в камеру сгорания ДВС. Блок магнитополевого активатора топлива и смесителя компонентов горючей смеси своим последующим воздействием на топливовоздушную горючую смесь полярнопеременным магнитным полем повышает качество смешения её компонентов и способствует дополнительной её активизации.

Реализация данного способа позволит повысить топливную экономичность, коэффициент полезного действия, улучшить мощностные, экологические и другие многочисленные характеристики двигателей внутреннего сгорания.

УДК 621.822.572:621.438

## **ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСА ТЕПЛОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ МАШИН**

ТИМИРГАЛЕЕВ Ш.Р., КНИТУ-КАИ, г. Казань  
Науч. рук. канд. техн. наук, доц. ТАКМОВЦЕВ В.В.

Тепловые энергетические машины (ТЭМ) широко применяются в различных областях техники, например, в теплоэнергетике, авиации, газовой промышленности и др. Повышение эффективности их работы достигается за счет увеличения основных параметров: температуры рабочего процесса, напорности и быстроходности ротора. При этом устанавливаются жесткие требования по ресурсу ТЭМ, величина которого должна составлять десятки и сотни тысяч часов. В результате элементы ротора и статора ТЭМ испытывают большие температурные и силовые нагрузки (как статические, так и переменные). Наиболее нагруженными элементами являются лопатки, диски и подшипники ротора.

В данном исследовании рассматривается актуальная проблема –

повышение надежности работы роторных подшипников качения (РПК) авиационных конвертированных газотурбинных двигателей (ГТД), используемых в качестве приводных двигателей на газоперекачивающих станциях. Тяжелые условия работы РПК приводят к снижению их основных показателей надежности: расчетной долговечности ( $L_h$ ) и установленной безотказной наработки ( $T_y$ ). Снижение  $L_h$  определяется в основном усталостью материала, из которого изготовлены элементы подшипника (тела качения, сепаратор, внутреннее и наружное кольца), под действием скорости вращения и нагрузок. Уменьшение  $T_y$  обусловлено работой подшипника качения в системе двигателя и зависит от многих факторов. По статистике 10–14 % составляет досрочный съем двигателей с эксплуатации в связи с отказами системы смазки и подшипников. Поэтому принятое в общем машиностроении рассмотрение подшипников в отрыве от опорного узла и двигателя, где этот узел установлен, неприемлемо к авиационным подшипникам качения. Таким образом, повышение надежности роторных авиационных подшипников качения в широком диапазоне оборотов и нагрузок является актуальной задачей. Важные этапы решения этой задачи: обобщение опыта доводки роторных подшипников качения в системе двигателя; исследование причин отказов подшипников; разработка рекомендаций по устранению дефектов; совершенствование конструктивного облика опорных узлов за счет создания совмещенных опор, объединяющих полезные свойства РПК с конструктивными элементами ГТД.

УДК 621.746.5.047.06

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОТЫ ЖИДКОЙ СТАЛИ В КРИСТАЛЛИЗАТОРЕ МАШИН НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ ЗАГОТОВОК**

ТУЧИБАЕВ И.Р., АЛОВАДИНОВА Х.Н., МГТУ им. Г.И. Носова,  
г. Магнитогорск

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

В настоящее время как в России, так и во всем мире особое место уделяют совершенствованию качества стали, производимой на машинах непрерывного литья заготовок (МНЛЗ). Их главными технологическими функциями являются фазовый переход металла из жидкого состояния в твердое и формирование слитка в процессе его вытягивания.

В основном узле МНЛЗ – кристаллизаторе – охлаждение стали водой сопровождается повышенными энергозатратами. Водяное охлаждение является ненадежным (охлаждаемые элементы прогорают) и неэкономичным из-за огромных расходов охлаждающей воды. Увеличение перепада температуры охлаждающей воды больше чем на 10 °С (от 20 °С) приводит к выпадению накипи. Замена воды на другой теплоноситель позволила бы полезно использовать выделяющееся тепло в кристаллизаторе МНЛЗ и сократить затраты на циркуляцию. В промышленности применяется множество теплоносителей. Для температурного интервала 450–800 °С и выше в нагревательных установках жидкометаллические теплоносители являются самыми подходящими из всех высокотемпературных теплоносителей.

Из табл. 1 видно, что наименьшие затраты энергии на циркуляцию необходимы для литиевого и галлиевого теплоносителей. При водяном охлаждении затрачивается 2,039 кВт · ч/т электроэнергии. При охлаждении литием и натрием вырабатывается до 6,5 кВт · ч/т электроэнергии, что при её затратах 14 кВт · ч с запасом покрывает их. Замена теплоносителя в кристаллизаторе МНЛЗ на другой позволяет, частично используя теплоту стали в нем для генерации электроэнергии на собственные нужды, снизить себестоимость самой продукции.

Таблица 1

Результаты оценки затрат энергии на циркуляцию теплоносителя  
и затрат электроэнергии на разливку стали

Теплоноситель	Затраты энергии на циркуляцию теплоносителя, Вт	Затраты электроэнергии, кВт · ч/т
Вода	9145	-2,039
Литий	9145	6,52
Натрий	54,652	6,559
Галлий	0,979	14,642

УДК 697.113.12: 725.85

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ПРИТОЧНО-ВЫТЯЖНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ С РЕКУПЕРАЦИЕЙ ТЕПЛА СПОРТИВНОГО СООРУЖЕНИЯ**

ФАЙЗРАХМАНОВА А.Р., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. ст. преп. ХАЙРУЛЛИН А.Г.

В работе рассмотрены проблемы снижения энергопотребления в системах микроклимата производственных помещений с очисткой воздушной среды от сопутствующих примесей с использованием приточно-вытяжной вентиляции с рекуперацией.

В настоящее время промышленные помещения загрязнены различными веществами, которые оказывают негативное влияние на организм человека и могут привести к возникновению различных заболеваний. Поэтому разработка системы с рекуперацией тепла одновременно с системой очистки воздушной среды от сопутствующих примесей является актуальной проблемой.

Для проведения эксперимента была создана лабораторная установка, включающая в себя рекуператор тепла на основе керамических изделий, два вентилятора, установленных на входе и выходе, система очистки воздушной среды, состоящая из сорбционного материала и озонатора.

Система приточно-вытяжной вентиляции с рекуперацией тепловой энергии (СПВВР) позволяет за короткое время обновлять воздух в помещениях, создавая и далее поддерживая в них идеальный микроклимат, уменьшать общие потери тепла в помещении более, чем в два раза. При этом СПВВР способствует функционированию существующих в помещении вытяжных вентиляционных систем, работе газового оборудования (котлы, колонки, плиты).

При проведении экспериментальной работы изменяются режимы рекуперации тепла, к которым относятся скорость воздушного потока, температура, время переключения электрических вентиляторов.

Для оценки степени окисления сопутствующих примесей озоном измерялась его концентрация на входе и выходе системы.

УДК 533.6+66.015.23

## КОЭФФИЦИЕНТЫ ТЕПЛО- И МАССООТДАЧИ В ЖИДКОЙ ФАЗЕ ПРИ ПЛЕНОЧНОМ РЕЖИМЕ В КОЛОННАХ С НОВЫМИ НАСАДКАМИ

ФАРАХОВ М.М., ИВЦ «Инжехим», г. Казань  
Науч. рук. д-р техн. наук, проф. ЛАПТЕВ А.Г.

Теоретический анализ и экспериментальные исследования гидродинамических закономерностей в слоях насыпной насадки показывают, что плёночное течение жидкости по насадочным элементам небольших размеров является ламинарным и безволновым.

При моделировании массоотдачи в насадочной колонне принимается известное допущение, что при перетекании жидкости с одного насадочного элемента на другой в жидкости по насадочным происходит полное перемешивание. Следовательно, с передней кромки каждого насадочного элемента на его поверхности происходит формирование пограничного слоя. Согласно исследованиям Дэвидсона, плёночное течение в беспорядочных насадках соответствует плёночному течению по вертикальным поверхностям с поправочным коэффициентом  $k = \pi/2$  при эквивалентном критерии Рейнольдса, равном  $Re_{\text{ЭКВ}} = \pi/2 Re_{\text{ПЛ}}$ .

Для беспорядочной насадки (засыпанной внавал), как отмечено выше,  $k = \pi/2$ . Тогда коэффициент массоотдачи в жидкой фазе при равномерном распределении потока находится по уравнению Вязова:

$$\beta_{\text{ж}} = 1,367 \sqrt{\frac{\pi v_{\text{ж}} U_{\text{ср}}}{2l} Sc_{\text{ж}}^{-0,5}}. \quad (1)$$

В колоннах с новыми насадками, элементы которых образованы изогнутыми тонкими металлическими лентами, длина пути жидкости равна ширине ленты и составляет от 2 до 5 мм. Как показывают расчеты, по формуле (1) коэффициент массоотдачи получается в 1,5–2 раза выше, чем у многих известных насадок (кольца Рашига, Палля и др.). Особенно это важно, когда сопротивление массоотдачи сосредоточено в жидкой фазе (например, удаление труднорастворимых газов из воды на ТЭС). С использованием выражения (1) и уравнений модели структуры

потоков выполняются расчеты промышленных насадочных колонн при их проектировании или модернизации. Внедрение колонн с новыми насадками обеспечивает повышение эффективности массопередачи и снижение энергозатрат.

УДК 620.92

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ ЗОЛОШЛАКОУДАЛЕНИЯ ТЭС, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ КОМПОЗИЦИОННЫЕ СУСПЕНЗИОННЫЕ ТОПЛИВА**

ФЕДОТОВ А.И., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук ШАМСУТДИНОВ Э.В.;

д-р техн. наук, проф. МИНГАЛЕЕВА Г.Р.

В соответствии со стратегией развития российской энергетики до 2030 г. доля угля должна увеличиться до 34–36 %, что будет способствовать снижению зависимости российской энергетики от одного вида топлива – природного газа. Эта задача может быть решена за счет более широкого внедрения технологий эффективного использования угля, в частности приготовления и сжигания водоугольных топлив (ВУТ). Угольные суспензии могут заменить традиционное энергетическое топливо – мазут и уголь – на ТЭС и котельных с пылевидным и слоевым сжиганием угля; на ТЭС и котельных, работающих на мазуте; в установках комбинированного парогазового цикла. Однако многие вопросы, касающиеся процесса сжигания ВУТ, на сегодняшний день еще до конца не исследованы. В связи с этим в данной работе определены основные энергетические и технико-экономические показатели технологических систем золошлакоудаления ТЭС, использующих композиционные суспензионные топлива, в частности водоугольные. Отмечены особенности образующихся при сжигании и газификации ВУТ золошлаковых отходов, связанные с наличием остаточного углерода. Содержание в золе несгоревших угольных частиц может достигать 30–40 %, в связи с чем их извлечение и последующее использование можно назвать актуальными. Одним из основных методов выделения несгоревших угольных частиц из золы-уноса является флотация с применением различных флотореагентов. Данный метод основан

на различии в смачиваемости несгоревших угольных частиц и других компонентов золошлаковых отходов и используется как при сухом, так и при жидком золошлакоудалении. Основная область применения несгоревших угольных частиц – литейное производство (в качестве заменителя графита), а также они используются как наполнители бетонов и резин.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 14-08-00333).

УДК 621.438

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ХИМИЧЕСКОГО ЦЕХА ТЭЦ-3**

ФРОЛОВА А.Л., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р хим. наук, проф. НОВИКОВ В.Ф.

Проблема очистки сточных вод ТЭЦ стоит достаточно остро, поскольку существующие технологические схемы не обеспечивают необходимой степени извлечения вредных примесей: азота аммонийного, сульфатов, взвешенных веществ, хлоридов, соединений железа и меди, фторидов и нефтепродуктов, примесей, имеющих щелочную среду.

Для осуществления процесса нейтрализации предлагаются абсорбционные колонны, которые подразделяются на пленочные, трубчатые, поверхностные, распылительные, насадочные и барботажные адсорберы. Самый эффективный процесс нейтрализации протекает в барботажных адсорберах с перемешиванием жидкости, так как в других колоннах возможно засорение внутренних деталей из-за образования осадка (шлама) в данном процессе. Это приводит к поломке аппаратов, при использовании насадок произойдет их загрязнение, забивание, что снизит эффективность очистки.

В связи с тем, что данная технология не требует больших энергетических затрат, обеспечивает необходимую степень извлечения загрязнений, она может быть рекомендована для применения в технологическом цикле очистки сточных вод ТЭЦ.

УДК 621.499.4

## **КОМБИНИРОВАННЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ НА ОСНОВЕ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК**

ХАЕРТДИНОВА А.Р., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. УСКОВ Д.А; доц. ШУБИНА А.С.

В настоящее время большое внимание уделяется программе энергосбережения и повышению эффективности выработки электроэнергии. Энергетические технологии на основе топливных элементов – это одно из перспективных направлений развития малой энергетики, обеспечивающее высокую эффективность и экологичность. Для этой цели применяются фосфорнокислые, твердополимерные и твердооксидные топливные элементы. К достоинствам твердооксидных топливных элементов можно отнести отсутствие платиновых катализаторов, меньшую чувствительность к каталитическим ядам, электроокисление СО, относительно низкие электродные поляризации и соответственно, высокие плотности тока, отсутствие жидких компонентов, проблему затопления и смачивания электродов, толерантность к перезагрузке и недогрузкам. В твердооксидных топливных элементах наряду с электроэнергией генерируется высокопотенциальная теплота, которую можно использовать в тепловых машинах. Наиболее перспективно совмещение газотурбинной установки и топливного элемента. Поскольку газотурбинные установки работают при повышенных температурах, их логично совмещать в комбинированных энергоустановках с высокотемпературными топливными элементами. КПД топливного элемента не ограничен законом Карно, следовательно, данный коэффициент комбинированной энергоустановки можно повышать за счет КПД топливного элемента. Коэффициент полезного действия термодинамически обоснованной схемы комбинированной установки с топливным элементом и газотурбинной установкой составляет от 65 до 75 % в температурном диапазоне 600–1000 °С для твердооксидных и карбонатных топливных элементов при использовании разных видов углеводородного топлива. Стационарные комбинированные энергоустановки на базе топливных элементов могут быть мощностью от десятков киловатт до нескольких мегаватт.

УДК 621.499.4

## **ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ РАБОТЕ НА АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ТОПЛИВАХ ИЗ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ РЕСУРСОВ ДЛЯ ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ И ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ**

ХАЕРТДИНОВА А.Р., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. доц. ШУБИНА А.С.; канд. техн. наук, доц. УСКОВ Д.А.

Основными источниками энергоресурсов в мире являются нефть, природный газ, каменный и бурый угли.

Уголь и природный газ, как нефть и уран, являются невозобновляемыми сырьевыми энергоресурсами. Кроме того, извлекая из недр уголь и природный газ и превращая их в диоксид углерода, человечество увеличивает концентрацию  $\text{CO}_2$  в атмосфере и, тем самым, способствует усилению парникового эффекта, вызывающего потепление климата на Земле с вытекающими из этого катастрофическими последствиями.

В настоящее время во многих странах ведутся интенсивные разработки моторных топлив из возобновляемого сырья: растительной биомассы, отходов промышленного, бытового и сельскохозяйственного производства. Разработаны альтернативные моторные топлива, вырабатываемые из кукурузы, сахарного тростника, рапса и других сельскохозяйственных культур. Это – спирты и эфиры, при сгорании которых также образуется  $\text{CO}_2$ , но это тот углекислый газ, который был ранее поглощен растением из воздуха, и, следовательно, применение растительной биомассы в качестве сырья для производства моторных топлив не увеличивает его содержание в атмосфере.

Все вышесказанное позволяет считать весьма перспективным использование такого топлива в энергоустановках для выработки электроэнергии и тепла для снабжения жилых зданий, небольших промышленных и сельскохозяйственных предприятий. В качестве таких энергоустановок могут применяться серийно выпускаемые поршневые и газотурбинные установки, адаптированные под данный вид топлива, и авиационные газотурбинные двигатели, отработавшие летный ресурс, также возможно их комбинированное использование.

УДК 669.1.045-41

## **ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ РЕГЕНЕРАЦИЯ ТЕПЛОТЫ ГОРЯЧЕГО ПРОКАТА ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

ХАЙРУЛЛИН И.А., БОЛОТНИКОВ С.С., МГТУ им. Г.И. Носова,  
г. Магнитогорск

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

В 2014 году выплавка стали в Российской Федерации составила порядка 70,7 млн т/г. Почти 90 % – стальной прокат. Для производства одной тонны проката необходимо около 1,2 тонн условного топлива.

Стальной лист при производстве проката выходит после последней чистовой клетки с температурой 1000 °С, охлаждается водой до 500 °С и сматывается в рулон. При этом выделяется порядка 350 МДж тепловой энергии с каждой тонны проката и рассеивается в окружающей среде.

Задачей данной работы является исследование возможности теплотехнологической регенерации отведенной теплоты на генерацию электроэнергии.

Возможным решением поставленной задачи может быть замена охлаждающей воды на высокотемпературные теплоносители. В последнее время активно развивается атомная энергетика, где используются парогенераторы, работающие на жидкометаллических теплоносителях, например Вi, Рb, сплав С-13. С учетом свойств жидкометаллических теплоносителей существует возможность генерировать порядка 39 кВт · ч электроэнергии с каждой тонны проката. Данное мероприятие может позволить экономить до 12 кг.у.т. с каждой тонны проката.

УДК 551.583

## **РАДИАЦИОННЫЙ ТЕПЛООБМЕН В СОЛНЕЧНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ**

ХАМИДУЛЛИНА М.С., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р физ.-мат. наук, проф. МОСКАЛЕНКО Н.И.

Метод численного моделирования (МЧМ) радиационного теплообмена в средах, подверженных сильным антропогенным и природным воздействиям, позволяет оценить влияние метеосостояния атмосферы

и деятельности человека на работу солнечных энергетических установок (СЭУ) при различных условиях атмосферы и дает возможность рассчитать эффективность функционирования данных установок в зависимости от места их расположения и конструкторских решений.

При выполнении расчетов с применением МЧМ радиационного теплообмена для СЭУ необходимо учитывать селективность спектров поглощения солнечного излучения (СИ) атмосферными газами прямой и рассеянной солнечной радиации, рассеянное диффузное и отраженное подстилающей поверхностью излучение, тепловое противоизлучение атмосферы, падающее на тепловоспринимающую поверхность, потери тепла, обусловленные конвективным теплообменом и наружным радиационным охлаждением.

Отношения эффективности функционирования СЭУ в условиях антропогенно возмущенной безоблачной атмосферы и с учетом городской дымки можно определить по соотношению:

$$\frac{\eta}{\eta_0} = \frac{f_1 \left( \int_{\lambda} F_{\lambda}(\theta) \cdot \delta_{\Gamma\lambda}(\theta) \cdot k_{\lambda} d\lambda + \int_{\lambda} F_{\lambda}(\theta) \cdot \tau_{\Gamma\lambda}(\theta) \cdot k_{\lambda} d\lambda \right) + f_2 \left( \int_{\lambda} F_{\lambda}(\theta) \cdot \delta_{0\Gamma\lambda}(\theta) \cdot k_{\lambda} d\lambda \right)}{f_1 \left( \int_{\lambda} F_{\lambda}(\theta) \cdot \delta_{\lambda}(\theta) \cdot k_{\lambda} d\lambda + \int_{\lambda} F_{\lambda}(\theta) \cdot \tau_{\lambda}(\theta) \cdot k_{\lambda} d\lambda \right) + f_2 \left( \int_{\lambda} F_{\lambda}(\theta) \cdot \delta_{0\lambda}(\theta) \cdot k_{\lambda} d\lambda \right)},$$

где  $F_{\lambda}(\theta)$  – спектральный поток СИ,  $\delta_{\lambda}$  – спектральное альbedo атмосферы,  $k_{\lambda}$  – спектральная зависимость коэффициента преобразования СИ;  $f_1$  и  $f_2$  – вероятность безоблачного состояния атмосферы и вероятность перекрытия небосвода облачностью соответственно,  $f_1 + f_2 = 1$ .

Сравнение спектральных облученностей СИ для фоновой модели атмосферы и атмосферы возмущенной антропогенными выбросами показывают, что антропогенные воздействия на атмосферу в условия городской дымки занижают поток СИ на тепловоспринимающую поверхность в среднем на 24–30 %, уменьшая эффективность работы СЭУ.

УДК 551.583

## ГОМОГЕННАЯ И ГЕТЕРОГЕННАЯ КОАГУЛЯЦИИ ДИСПЕРСНОЙ ФАЗЫ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ

ХАМИДУЛЛИНА М.С., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р физ.-мат. наук, проф. МОСКАЛЕНКО Н.И.

В камерах сгорания при расчетах радиационного теплообмена необходима реализация замкнутого моделирования оптических характеристик (ОХ) дисперсной фазы. В процессе сгорания топлива изменяется его химический состав и структура. Практически не изученными являются пространственное распределение и микроструктура золя, генерируемого в процессе сгорания и движения его продуктов по высоте топки. Помимо этого чрезвычайно важно учитывать процесс коагуляции дымового золя, седиментацию частиц пылевого золя, влияние конденсационных процессов на ОХ дымового золя и процесс седиментации частиц и их вымывание осадками в атмосфере.

Сток пылевого и сажевого золя учитывается как результат гетерогенной и гомогенной коагуляции частиц, их захват облаками, вымывание осадками и морскими брызгами, седиментацией на подстилающую поверхность. Для гомогенной коагуляции частиц:

$$\frac{r}{r_0} = \left[ 1 + \frac{1}{2} K n_0 \frac{\ln(1 + \alpha t)}{\alpha} \right]^{1/3}, \quad (1)$$

где  $K$  – коэффициент броуновской коагуляции,  $n_0$  – число частиц в единице объёма;  $\alpha^{-1}$  – время, в течение которого размер частиц увеличится в два раза.

Для гетерогенной многокомпонентной коагуляции частиц распределение числа частиц  $f[r(t)]$  определяется соотношением:

$$\begin{aligned} \frac{f[r(t)]}{f_0(r)} = & \sum_i \left[ 1 + \frac{1}{2} k_i n_{0i} \ln \left\{ \frac{1 + \alpha_i t}{\alpha_i} \right\} \right]^{1/3} + \\ & + \sum_{i \neq k} \left[ 1 + \frac{1}{2} k_{ik} (n_{0i} \cdot n_{0k})^{1/2} \cdot \ln \left\{ \frac{1 + \alpha_{ik} t}{\alpha_{ik}} \right\} \right]^{1/3}, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $f[r(t)]$  – временная зависимость распределения частиц по размерам;  $i$  – номер компонента (фракции) золя;  $k_i$  – коэффициент броуновской коагуляции для компонента  $i$ ;  $k_{i,k}$  – коэффициент броуновского взаимодействия частиц разных фракций  $i, k$ .

УДК 621.314.212

## **РЕГЕНЕРАЦИЯ ТРАНСФОРМАТОРОГО МАСЛА С ЦЕОЛИТОСОДЕРЖАЩИМИ ПОРОДАМИ**

ХАНЗЯРОВ Р.Р., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р хим. наук, проф. НОВИКОВ В.Ф.

В энергетической отрасли промышленности широко применяется маслonaполненное электрооборудование, в котором в качестве изолирующей среды используется трансформаторное масло. В процессе эксплуатации силовых трансформаторов в трансформаторном масле накапливаются продукты его окисления, которые ухудшают диэлектрические свойства. Для очистки трансформаторного масла от сопутствующих примесей используются различные методы. Для этого нами был использован адсорбционный метод. В качестве адсорбента применялись цеолитосодержащие породы Татарско-Шатаршанского месторождения РТ, которые были предварительно обработаны кислотными щелочами для удаления цеолитой воды, сорбенты нагревались при температуре 400–450 °С, затем загружались в сорбционную колонну, в которой производилась очистка трансформаторного масла от сопутствующих примесей.

УДК 539.378

## **НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ИХ АППАРАТУРНЫЕ ОФОРМЛЕНИЯ ДЛЯ ГИДРОТРАНСПОРТА ДИСПЕРСИЙ**

ХИСАМУТДИНОВ М.В., КГЭУ, г. Казань

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

Процесс получения сока из сахаросодержащих материалов является основным процессом при производстве сахара. Главная задача при этом – получить, как можно большее количество сахара. От получаемого сока требуются высокая доброкачественность и плотность (так же, как и возможная

пригодность к дальнейшей переработке). До недавнего времени противоточное экстрагирование свекловичной стружки и другого сахаросодержащего сырья занимало доминирующее место в мировой сахарной промышленности. Аппаратурное оформление этого так называемого диффузионного способа довольно полно отражено в многочисленных научных трудах. Недостатками этого способа являются довольно большие количества подаваемой на отмывку воды и немалые энергозатраты для последующего концентрирования сахаров. Имеются проблемы и с проектированием оптимальных тепловых систем сахарного производства. Применение новых методов теплового расчета и использование современных пластинчатых теплообменников и пластинчатых выпарных аппаратов позволяют снизить энергопотребление на сахарных заводах.

УДК 621.311.23.26

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕРМОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ РЕГЕНЕРАЦИИ ТЕПЛОТЫ**

ЧАСТИКОВА О.И., СамГТУ, г. Самара

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

Одна из главных проблем российской экономики – неэффективное использование энергетических ресурсов. Реализация энергосберегающих мероприятий требует в 3–4 раза меньше инвестиций, чем затраты на увеличение производства соответствующей энергии.

Наиболее энергоемкие процессы в теплоэнергетике приходятся на долю высокотемпературных теплотехнологических установок (ВТУ), для которых характерны высокие тепловые потери с отходящими дымовыми газами (до 70 %). Повышение энергоэффективности таких установок возможно за счет применения регенерации тепла с отходящими газами.

Существуют разные способы полезного использования безвозвратно теряемого тепла. Одним из них является термохимический способ регенерации (ТХР) теплоты, рассматриваемый в настоящее время как один из наиболее перспективных. При реализации данного способа возможна практически полная регенерация теплоты отходящих газов. Одним из вариантов реализации термохимической регенерации теплоты является ТХР за счет паро-углекислотной конверсии метана. Такой принцип регенерации теплоты основан на использовании бросовых

ресурсов – тепла дымовых газов и их компонентов ( $H_2O$  и  $CO_2$ ). Применение этого способа обуславливает появление больших резервов снижения удельной энергоемкости ВТУ.

УДК 628.31

## **ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ РЕАБИЛИТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ НАКОПЛЕННОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО УЩЕРБА НЕФТЕСОДЕРЖАЩИМИ ЗАГРЯЗНЕНИЯМИ**

ЧЕРЕПАНОВ О.В, КГЭУ, г. Казань

Науч рук. канд. техн. наук, доц. КОТЛЯР М.Н.

Целью работы в рамках магистерской диссертации является изучение эффективности применения модифицированных сорбентов на основе карбонатного шлама при очистке нефтезагрязненных природных вод и прилегающих почв.

Поступление нефти в окружающую среду связано с ее утечкой из поврежденных трубопроводов при фонтанировании из разбуренных и эксплуатационных скважин. Из-за высокой степени загрязнения имеет место отчуждение земельных угодий из сельскохозяйственного оборота, которые становятся практически непригодными для земледелия, загрязненные водные объекты влекут за собой гибель водной биоты [1]. В Республике Татарстан с 70-80-х годов наблюдаются антропогенно-нарушенные зоны в Альметьевском, Бавлинском, Бугульминском, Азнакаевском муниципальных районах.

В качестве экспериментальной площадки для оценки эффективности модифицированных сорбентов была определена территория одной из бывших нефтебаз Бавлинского района, где нефтяное загрязнение затронуло не только почвенный слой, но и близлежащий водный объект. Размещенный в бонах модифицированный гидрофобный сорбент на основе карбонатного шлама показал хорошую плавучую способность и подтвердил сорбционные характеристики, установленные в лабораторных условиях, а также продемонстрировал приемлемые технико-экономические показатели при использовании его в промышленных масштабах.

### Литература

1. Войно Л.И. Биодegradация нефтезагрязнений почв и акваторий / Л.И. Войно // Фундаментальные исследования: материалы конф. – 2006. – № 5. – С. 68–70.

УДК 66.083

## **ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЙ МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ МИКРО- И НАНОФОРМ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИХ СУБСТАНЦИЙ НА ОСНОВЕ СВЕРХКРИТИЧЕСКИХ ФЛЮИДНЫХ СРЕД**

ШАЙХУТДИНОВ И.З., КГЭУ, г. Казань  
ГИЛМУТДИНОВ И.И., ГИЛМУТДИНОВ И.М., САБИРЗЯНОВ А.Н.,  
КНИТУ, г. Казань  
Науч. рук. канд. техн. наук, доц. КУЗНЕЦОВА И.В.

В настоящее время фармацевтическая промышленность заинтересована в создании лекарственных препаратов с более существенным фармакологическим действием. Однако существует проблема, связанная с плохой растворимостью многих препаратов. Одним из способов решения данной проблемы является диспергирование веществ с целью получения частиц нано- и микронного размеров. Одним из методов по получению наночастиц является метод быстрого расширения сверхкритического раствора (RESS). Он основан на растворении вещества в сверхкритическом флюиде и дальнейшем быстром сбросе давления с помощью расширительного устройства (дроссель вентиля). Чаще всего, в качестве растворителя используют экологически чистый диоксид углерода ( $\text{CO}_2$ ), который имеет сравнительно небольшие сверхкритические параметры. Для осуществления процесса достаточно иметь данные по растворимости лекарственного препарата в  $\text{CO}_2$ . Быстрый сброс давления с помощью дроссель вентиля позволяет перевести  $\text{CO}_2$  из сверхкритического в газообразное состояние. Тем самым, на конечном этапе получается продукт, полностью очищенный от используемого растворителя и готовый к применению.

Полученные результаты показывают, что на всем этапе формирования частиц преобладает процесс зародышеобразования, о чем говорит большое количество частиц с диапазоном размеров от 4 до 6 мкм (34–49 %). Также выявлено, что с повышением давления увеличивается количество частиц в диапазоне размеров 2–6 мкм и сокращается в диапазоне 8–16 мкм. С повышением температуры расширительного устройства наблюдается обратный эффект. На изменение среднего размера частиц влияет сразу ряд факторов. В первую очередь, это геометрия потока. Высокая скорость потока на начальных этапах приводит к возникновению диска Маха, где разрушаются частицы, образованные в результате коагуляции, и кластеры.

Размер микрочастиц существенно зависит от параметров используемого сверхкритического флюида и условий проведения опыта.

УДК 621.9

## ТЕПЛООБМЕН ПУЧКА ТРУБ В ПУЛЬСИРУЮЩЕМ ПОТОКЕ

ШАКИРОВ Р.Р., КНИТУ-КАИ, г. Казань

Науч. рук. д-р техн. наук, ст. науч. сотр. МОЛОЧНИКОВ В.М.

Интенсификация теплоотдачи при обтекании пучка труб в современных кожухотрубных теплообменных аппаратах является одной из важнейших задач. В данной работе выполнены экспериментальные исследования влияния вынужденных пульсаций потока на теплоотдачу труб в пучке.

Эксперименты проводились в рабочем участке установки, имеющем квадратное поперечное сечение  $0,38 \times 0,38$  м и длину 2,73 м. Расход воздуха в установке создавался всасывающим вентилятором и измерялся ультразвуковым расходомером. Исследовалось течение и теплообмен пучка труб (цилиндров) диаметром  $d = 0,05$  м при их коридорном (рис. 1, а) и шахматном расположении (рис. 1, б).

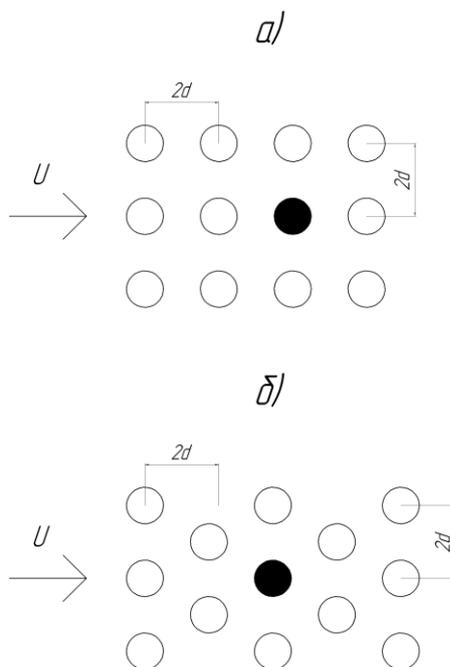


Рис. 1. Схема расположения труб в пучке:  
а – коридорное; б – шахматное. Закрашен нагретый цилиндр

Расстояние между осями цилиндров составляло  $2d$ . Вынужденные пульсации скорости потока обеспечивались специальным устройством (пульсатором). Перед проведением опыта один из цилиндров в пучке заполнялся горячей водой при температуре  $60\text{--}70\text{ }^\circ\text{C}$ . Средний коэффициент теплоотдачи цилиндра в потоке определялся по темпу охлаждения воды, для чего измерялась ее температура при помощи термометра сопротивления. В опытах варьировалась частота вынужденных пульсаций  $f = 0,57\text{--}4$  Гц и относительная амплитуда  $\beta = 0,4\text{--}0,6$ . Число Рейнольдса, рассчитанное по средней скорости потока и диаметру цилиндра, составило 1100. Результаты сопоставлялись с данными по теплоотдаче цилиндра в пучке, полученными в стационарном внешнем потоке. Установлено, что вынужденные пульсации потока могут приводить к интенсификации теплоотдачи цилиндра в пучке. Определены режимы вынужденных пульсаций, соответствующие наибольшему приросту коэффициента теплоотдачи, достигающему 20 %.

УДК 624:621.31

## **МЕРОПРИЯТИЯ ПО ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЮ В ЖИЛЫХ ДОМАХ**

ЩЕТНЕВА И.Л., МАЛИНИНА Е.А., ИГЭУ, г. Иваново

Науч. рук. канд. экон. наук, доц. ТАРАСОВА А.С.

К мероприятиям государственной программы «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года» в секторе жилищного фонда относятся: оснащение приборами учета используемых энергетических ресурсов, энергосберегающий капитальный ремонт многоквартирных жилых зданий, замена устаревших газовых котлов и т.д.

Энергоемкость внутреннего валового продукта России в 2,5–3,5 раза выше, чем в развитых странах. Сохранение высокой энергоемкости российской экономики приведет к снижению энергетической безопасности России и сдерживанию экономического роста.

Выделяется два способа повышения энергоэффективности: бытовой и радикальный. Бытовой способ заключается в применении энергосберегающих мер собственниками жилья. Радикальный метод включает мероприятия, проводимые управляющей организацией, которые радикально меняют энергопотребление и распределение энергии дома.

Рекуперативная система вентиляции основана на отборе тепла из отходящих потоков воздуха системы вентиляции. Отводимый из кухни и санузла воздух проходит через теплообменник и нагревает воздух, поступающий в помещение. Эффективность работы рекуператора составляет 75–95 %. Затраты энергии на работу двигателя в 8–15 раз меньше сберегаемого с его помощью тепла.

Огромный потенциал энергосбережения имеет насосное оборудование, до 20 % электроэнергии можно сэкономить за счет высокого КПД и до 50 % – благодаря системам частного регулирования отопительной системы.

Реконструкция теплоузла – замена узла системы отопления на современный – для автоматизированного регулирования подачи теплоносителя в индивидуальном тепловом пункте дает оптимизацию расхода тепловой энергии в различное время суток и время года, сокращение теплотребления в доме на 30 %, а также обеспечение постоянной циркуляции горячей воды, снижение расхода воды на 30 %.

## **СЕКЦИЯ 5. АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ**

УДК 621.311.04

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИКРОКОМПЬЮТЕРА RASPBERRY PI В КАЧЕСТВЕ КОНТРОЛЛЕРА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ «УМНЫМ ДОМОМ»**

АЛИКИН Н.А., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, ст. преп. САФИН М.А.

Система «Умный дом» (англ. «Smart House») представляет собой совокупность различных инженерных коммуникаций и интеллектуальных систем управления, целью которых является обеспечение высокой степени автоматизации и слаженной работы всех сетей здания.

Актуальность этой работы заключается в том, что система представляет собой описание принципа построения недорогой и доступной системы управления «Умным домом».

Целью данной работы является построение стенда данной системы («Умный дом») на базе микрокомпьютера Raspberry Pi производства компании Raspberry Pi Foundation. Он может быть использован для осуществления управления нагрузкой силовых цепей обычного жилого помещения, а именно размыканием и замыканием контактов, применением диммирования (управление интенсивностью освещения) осветительных линий с помощью смартфона, планшетного ПК, домашнего компьютера или ноутбука через сеть Интернет или локальную домашнюю сеть.

В данном исследовании предусмотрено практическое применение работы микрокомпьютера Raspberry Pi, описание принципов работы симистора (полупроводникового прибора, являющегося разновидностью тиристоров, используемых для коммутации в цепях переменного тока), построение на его основе полупроводниковых ключей и диммеров для управления осветительными линиями жилого помещения, приведение необходимого программного обеспечения и основных алгоритмов его работы.

В результате был построен стенд системы «Умный дом», который может быть использован в виде примера работы всей системы либо же в качестве учебного материала для студентов.

УДК 621.865.8

## **СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РОБОТОТЕХНИКЕ. НЕЙРОННЫЕ СЕТИ**

АРСЛАНОВ Б.Т., ГАНИЕВ А.Л., КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. канд. техн. наук, ст. преп. САФИН М.А.

Робототехника – прикладная наука, занимающаяся разработкой автоматизированных технических систем и являющаяся важнейшей технической основой интенсификации производства.

Вне сомнений, робототехника представляет собой естественное логическое продолжение техники как явления. Стремление автоматизировать любой труд постепенно вытесняет человека из многих сфер его деятельности, предоставляя взамен все новые возможности для приложения усилий в промышленных процессах и производствах, а также в быту. Уже сейчас усилия большинства наилучших современных роботов направлены на производство других машин: станков, автомобилей, компьютеров и т.д. Большое внимание в роботостроении уделяется нейронным сетям (НС).

Робототехника является актуальным направлением в России, но мы находимся не на передовых позициях. В связи с этим, актуально развивать это направление более активно. За рубежом в качестве основных алгоритмов в робототехнике используют НС, которые активно задействованы в автоматизации процессов распознавания образов, адаптивном управлении, аппроксимации функционалов, прогнозировании, создании экспертных систем, организации ассоциативной памяти и многих других приложениях. С помощью НС можно, например, выполнять распознавание оптических или звуковых сигналов, создавать самообучающиеся системы, способные управлять автомашиной при парковке или синтезировать речь по тексту. В то время как на западе применение НС уже достаточно обширно, у нас это еще в некоторой степени экзотика. Тем не менее, тенденции развития НС в России растут с каждым годом.

Целью данной работы является изучение промышленной области, связанной с изучением робототехники и НС, в первую очередь, в энергетике, а также в других отраслях.

УДК 621.311.04

## **ВНЕДРЕНИЕ «УМНЫХ» ТЕХНОЛОГИЙ В ОФИСНЫЕ ПОМЕЩЕНИЯ**

БОРОДИНА С.М., СОФЬИНА А.А., КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. канд. техн. наук, ст. преп. САФИН М.А.

Современный офис – это не только служебное помещение с мебелью и техническим оборудованием, но и пространство, в котором человек проводит значительную часть своего времени. В современных офисах проблемой являются некомфортные условия труда, которые влекут за собой снижение производительности труда сотрудников, увеличение числа пропусков работы по болезни и, соответственно, уменьшение прибыли.

Чтобы коллектив работал безотказно, как слаженный механизм, нужны соответствующие условия для труда. Для этого создается умный офис. Умный офис – это автоматизированная система управления офисными помещениями, в которых системы освещения, климата, безопасности, мультимедиа согласованы друг с другом и имеют простое регулирование. Умный офис обеспечивает управление освещением, шторами, климатом, системами безопасности, аудио- и видеоаппаратурой, повышая комфорт, безопасность и обеспечивая дополнительную экономию ресурсов.

Система позволяет использовать сценарии работы освещения, штор с учетом времени суток, дня недели или по ситуации. Сценарий при нажатии всего одной клавиши запускает управления сразу несколькими устройствами. Например: «все ушли», «дежурный свет», «презентация на проекторе».

Опция климат-контроля позволит сотрудникам регулировать температуру в офисе с одного выключателя – система сама будет управлять отоплением, кондиционером или теплым полом. Таким же способом осуществляется функционирование мультимедийными системами, которые для удобства также можно вывести на панель управления.

При этом и освещением, и шторами, и климатом можно будет управлять с единого выключателя. Помимо выключателей для регулирования могут быть использованы сенсорные панели. На интерфейс панели для удобства можно вывести и применение мультимедиа системы: музыка в офисе, система презентаций.

Функционирование всей системы (независимо от масштабов) полностью зависит от управляющего устройства – контроллера Logo компании Siemens. Данный контроллер прост в использовании, многофункционален и при этом надежен.

УДК 621.311

## **ВЫБОР ТЕХНОЛОГИИ УЧАСТИЯ ПАРОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ В РЕГУЛИРОВАНИИ ЧАСТОТЫ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ**

БУРЦЕВ С.Ю., КОРШИКОВА А.А., НИУ МЭИ, г. Москва  
Науч. рук. д-р техн. наук, проф. АРАКЕЛЯН Э.К.

В настоящее время парогазовые установки (ПГУ) активно привлекаются к регулированию частоты и мощности в энергосистеме. Бинарные парогазовые установка (ПГУ) дубли-блочной компоновки имеют в своем составе два активных элемента регулирования нагрузки: газовые и паровая турбины. Большие скорости набора и сброса нагрузки в сочетании с малой инерционностью обеспечивают газовой турбине (ГТ) высокие показатели маневренности и ставят ее главным элементом в системе управления мощностью парогазовой установки. С другой стороны, высокая маневренность паровой турбины (ПТ) при использовании аккумулированного тепла в барабанах котлов-утилизаторов позволяет применять определенные ее возможности в процессе регулирования частоты энергосистемы.

Изменение нагрузки ГТ ограничивается поддержанием соотношения «топливо-воздух» в камере сгорания, при этом инерционным звеном

является варьирование расхода воздуха. Тогда как скорость изменения мощности паровой турбины при регулировании клапанами не ограничивается.

Предлагается в наиболее ответственный, начальный момент отклонения частоты использовать возможности ПТ, а дальнейшее преобразование мощности проводить за счет газовых турбин.

Отличие динамических и экономических свойств ГТ и ПТ обуславливает необходимость нахождения оптимального способа регулирования нагрузки энергоблока ПГУ при привлечении ее в управлении мощности и частоты в энергосистеме с комплексным учетом факторов маневренности, экономичности и надежности работы оборудования.

### Литература

1. Аракелян Э.К. Оптимизация режимов работы ПГУ при участии ее в регулировании мощности и частоты в энергосистеме / Э.К. Аракелян, С.Ю. Бурцев // Сборник материалов докладов Национального конгресса по энергетике: В 5 т. Т. 2. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2014. – С. 11–20.

2. Коршикова А.А. Исследование метода расширения регулируемого диапазона энергоблока ПГУ-450Т / А.А. Коршикова // Энергосбережение. Теория и практика. Тез. докл.: в 3-х т. Т. 1. – М.: Изд. дом МЭИ, 2014. – С. 240–241.

УДК 004.41/.42

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ ГАРМОНИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА В SMLOGIX

ВЕРЕМЬЁВ В.О., ИГЭУ, г. Иваново

SMLogix – инструмент разработки прикладных программ для программируемых контроллеров Segnetics, предназначенных для автоматизации инженерных систем. При помощи SMLogix реализуются алгоритмы управления на языке FBD. Максимальное количество блоков в проекте для контроллера Segnetics SMH2Gi на данный момент равно 10–15 тысячам блоков.

Результатом работы является макрос, вычисляющий максимальное значение входного сигнала. Макрос обладает одним входом типа real, являющимся входным сигналом, и одним входом типа bool – сигналом сброса в «0» определенного на данный момент максимального значения.

Макрос определяет максимальное значение на основе сравнения текущего значения входного сигнала с текущим определенным

максимумом (рис. 1). На вход блока CMP (real) выполняющего сравнение, подается входной сигнал и значение текущего определенного максимума.

В первый цикл работы программы в качестве максимума подается «0», так как экстремум еще не определен. В случае, если значения входного процесса принимают только отрицательные значения, это приводит к неверному вычислению максимума. Следовательно, входной сигнал перед началом сравнения необходимо увеличить на некоторую константу с тем расчетом, чтобы сумма входного сигнала и константы оказалась больше «0».

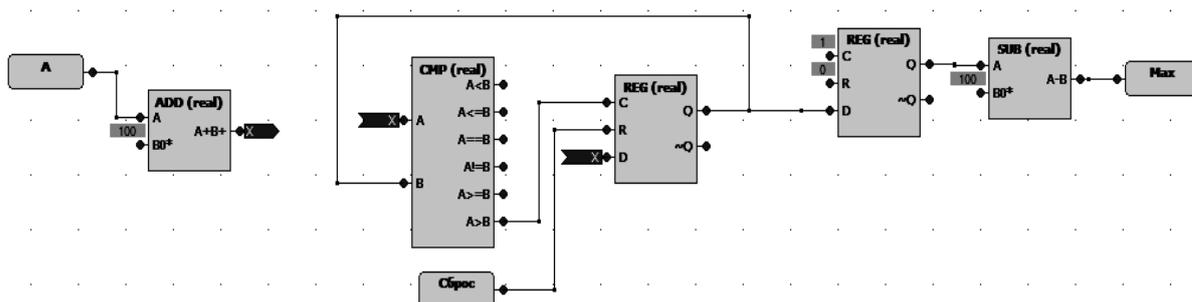


Рис. 1. Макрос определения максимума

Достоинство данного варианта макроса определения максимального значения входного сигнала заключается в простоте и малом числе блоков, необходимых для работы. Недостатком является необходимость вручную сбрасывать определенное значение максимума, если амплитуда колебаний уменьшается.

УДК 621.311.04

## РАЗРАБОТКА НМИ-ИНТЕРФЕЙСА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ЛАБОРАТОРНОЙ ГАЗОТУРБИНОЙ УСТАНОВКИ

ГАЙНУЛЛИНА Э.Н., ГАНИЕВ А.Л., ГЕЛЬМЕТДИНОВА А.З.,  
КГЭУ, г. Казань

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

Газотурбинная установка (ГТУ) представляет собой тепловой двигатель, в котором химическая энергия топлива преобразуется сначала в теплоту, а затем в механическую энергию на вращающемся валу.

Степень автоматизации газотурбинной электростанции позволяет отказаться от постоянного присутствия обслуживающего персонала в блоке управления.

На сегодняшний день существуют автоматизированные системы управления ГТУ, предназначенные для регулирования всеми элементами газотурбинной установки: газотурбинный двигатель, котел-утилизатор, дожимной газовый компрессор, а также электротехническая часть ГТУ. Таким образом, достигается единый подход к решению всего спектра задач по управлению ГТУ.

Автоматизированные системы управления технологическими процессами ГТУ обеспечивают: повышение качества этого процесса; надежность, увеличение срока службы; улучшение технико-экономических показателей; улучшение условий труда оперативного персонала.

Данные системы выполняют следующие функции: дистанционное управление; авторегулирование технологических параметров с заданными качественными характеристиками; управление регулятором топлива газотурбинного двигателя; информационные; защита и блокировка ГТУ.

УДК 004:621.1

## **КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТРЕНАЖЕРЫ И СИМУЛЯТОРЫ КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ В ЭНЕРГЕТИКЕ**

ГАЛИФАНОВА А.Х., КГЭУ, г. Казань

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

В современном мире значительная часть аварий происходит по вине человека. Для снижения этих показателей требуется более тщательная подготовка специалистов. Однако эта подготовка для энергетических предприятий обусловлена рядом сложностей. Существенное количество напряженных элементов с большой концентрацией энергии, повышенная степень пожаро- и взрывоопасности, слабая оснащённость системами автоматического контроля основных технологических параметров являются одними из основных.

Применение компьютерных тренажеров и симуляторов – наиболее оптимальный способ обучения и повышения уровня подготовки специалистов в области энергетики. К основным задачам таких тренажеров относят формирование навыков управления энергетическим оборудованием в сложных режимах, а также понимание персоналом этих режимов работы оборудования.

Стоит отметить, что требования предъявляются не только к тренажерам и симуляторам, но и обучающимся, а именно: они должны владеть определенным объемом теоретических знаний, навыками построения причинно-следственных связей между теми или иными

значениями параметров, а также знать положение исполнительных органов регулирующей аппаратуры.

Среди основных преимуществ использования компьютерных тренажеров и симуляторов в энергетике следует выделить:

1) возможность отработки базовых навыков работы с системой управления и действий в аварийных ситуациях без риска повлиять на ход реального технологического процесса;

2) обучение персонала на тренажерах без значительных затрат;

3) простота применения;

4) предприятия повысят конкурентоспособность за счет снижения экономических потерь, возникающих из-за ошибок оперативного технологического персонала.

Для обеспечения эффективности обучения необходимо максимальное сходство тренажерного комплекса и реальной автоматизированной системой управления технологическим процессом (АСУ ТП). Тренажеры функционируют за счет имитационных математических моделей, которые строятся на основе знаний экспертов, представленных в виде таблиц и графиков.

УДК 621.311.22:681.5(075.8)

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ КОНДЕНСАТА НА ВХОДЕ В КОТЕЛ-УТИЛИЗАТОР**

ДАНИЛОВА А.С., КУСТОВА Г.В., ИГЭУ, г. Иваново  
Науч. рук. канд. техн. наук, доц. ДЕМИН А.М.

В настоящее время в энергетике широко применяют парогазовые установки для производства тепловой и электрической энергии. Это обусловлено их преимуществами, основными из которых являются высокий КПД, экологичность и возможность полной автоматизации.

Нами были изучены и смоделированы в SCADA-системе ТЕКОН автоматические системы регулирования (АСР) температуры конденсата перед газовым подогревателем и деаэратором. Так как по условиям технологии эти параметры связаны между собой, то и АСР влияют на работу друг друга. Задача заключалась в исследовании и комплексном анализе взаимодействия этих двух систем. Алгоритм управления, мнемосхема (рис. 1) и модели участков регулирования разработаны на основании элементов библиотеки SCADA-системы ТЕКОН.

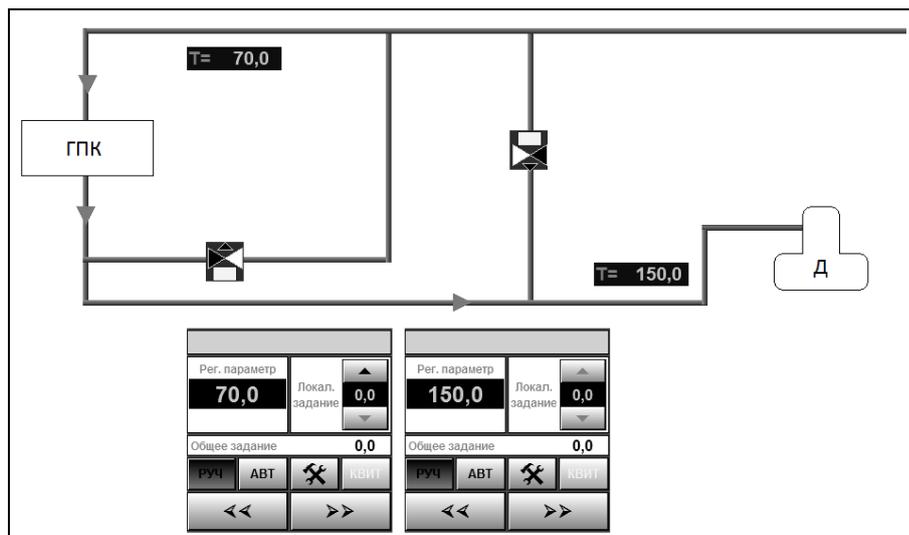


Рис. 1. Мнемосхема синтезированной схемы регулирования в SCADA-системе ТЕКОН:  
ГПК – газовый подогреватель конденсата; Д – деаэрактор

Далее с помощью моделей с заданными свойствами проведено тестирование полученных систем, по результатам которого сделан вывод о том, что алгоритмы регулирования с общей мнемосхемой работоспособны и могут быть рекомендованы к применению на полигонах для обучения персонала станций при работе с этими АСР.

УДК 681.5

## ГЕНЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ПРОБЛЕМЕ ОБУЧЕНИЯ НЕЙРО-НЕЧЕТКИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

ДОЗМОРОВ П.Г., ШАТСКИХ В.О., ИГЭУ, г. Иваново  
Науч. рук. доц. ТЕТЕРЕВКОВ И.В.

Основной недостаток обычных систем управления – это их неспособность качественно обрабатывать параметрические возмущения. Наиболее хорошо с этим справляются системы нечеткой логики (СНЛ), оценивающие ситуацию с помощью набора качественных понятий. При этом эксперт, создающий систему, должен математически формализовать свои представления об управлении, что далеко не всегда осуществимо (ему удобнее сформулировать некоторый набор правил, не объясняя логики их получения). Для того чтобы система сама выявила эту логику и оказалась способна в дальнейшем проводить рассуждения, подобно эксперту, нечеткие системы удобно представлять в виде

нейронных сетей (НС), предназначенных для получения новых знаний. Так появляется новый класс систем управления – нейро-нечеткие системы (ННС), сочетающие в себе качественную работу СНЛ и возможность к обучению НС. Задача обучения ННС сводится к такому перестроению весов связей НС (соответствующих параметрам СНЛ), чтобы система при подаче на ее вход описания конкретной ситуации делала тот же вывод по поводу управляющего воздействия, что и эксперт. Стандартные методы обучения сети (например, метод обратного распространения ошибки) основаны на применении градиентных алгоритмов. Существенным недостатком этих методов является вычислительная неустойчивость, что требует проведения длительного процесса обучения с большим количеством предъявлений обучающей выборки с низкой скоростью обучения. Авторами рассмотрен генетический подход к обучению ННС. В этом случае снимается проблема вычислительной неустойчивости и заметно снижается время на обучение НС. В работе рассматривалась ННС с двумя лингвистическими переменными (ошибка управления и ее производная), тремя терм-множествами и экспоненциальными функциями принадлежности. Обучающая выборка содержала в себе описание всего семи технологических ситуаций. Обучение ННС на основе градиентного метода потребовало предъявить системе обучающую выборку 5000 раз, а обучение с помощью генетического алгоритма – всего 300 (30 особей на 10 поколений). Результаты обучения в обоих вариантах оказались сопоставимы. Таким образом, утверждение о преимуществе генетического подхода к обучению ННС подтверждается опытными данными.

УДК 697.3

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЗДАНИЯ МАЛОЭТАЖНОЙ ЗАСТРОЙКИ**

**ЗАМАЛИЕВА Г.И., КГЭУ, г. Казань**

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

Строительство частных малоэтажных домов в последние годы резко возросло. Многие люди предпочитают жить за городом круглый год. Естественно, что при этом на первый план выходят вопросы обеспечения комфортных условий проживания, в особенности теплоснабжения, ведь современный человек не представляет себе дом без таких благ, как отопление и горячая вода. Поэтому данная исследовательская работа актуальна в настоящее время.

В работе предложена комбинированная схема теплонасосной системы теплоснабжения (ТНСТ) жилого здания, которая включает в себя тепловой насос, первичный контур отбора теплоты от источника низкопотенциальной энергии и вторичный контур, состоящий из распределительного контура, системы напольного отопления и системы горячего водоснабжения (ГВС). ТНСТ предназначена для индивидуальных домов малоэтажной застройки в условиях средней полосы России и реализует бивалентный режим работы, т.е. при наружной температуре воздуха ниже установленной (бивалентной) используется дополнительный электрический источник энергии.

Функционирование всей системы осуществляется под управлением мультиконтроллера с беспроводным интерфейсом связи и сенсорами.

Тепловой насос работает на контур отопления до момента заполнения буферной емкости нагретым теплоносителем, что регистрируется датчиком. Когда буферная емкость заполнена, мультиконтроллер с помощью датчика регистрирует температуру воды в баке-аккумуляторе системы ГВС, и при температуре воды ниже 45 °С отключает тепловой насос и насосы. В противном случае работа теплового насоса переключается на контур ГВС. В случае снижения температуры теплоносителя в буферной емкости системы отопления при работе на контур ГВС контроллер по сигналу с датчика переключает ТН на контур отопления. При этом догрев воды в системе ГВС до требуемой температуры производится дополнительным нагревателем.

Таким образом, предлагаемая схема позволяет регулировать температуру теплоносителя в распределительном контуре ТНСТ и может повысить эффективность работы системы, а также снизить номинальную мощность ТН с помощью его поочередной работы на контур отопления и ГВС.

УДК 681.5

## **РЕАЛИЗАЦИЯ МАТРИЧНЫХ ОПЕРАЦИЙ В ЗАДАЧАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ**

КОЛЕСОВ В.С., КУЗНЕЦОВ Д.В., ИГЭУ, г. Иваново  
Науч. рук. доц. ТЕТЕРЕВКОВ И.В.

В современных условиях технической базой для построения систем управления технологическими объектами являются сети микропроцессорных контроллеров и операторских станций. Это позволяет создать систему значительной вычислительной мощности, способную реализовать

практически любой сложный алгоритм обработки данных. Большой интерес представляют способы организации матричных операций, связанные в первую очередь с нахождением обратных матриц и собственных её чисел. Например, одним из перспективных подходов к управлению является использование пространства состояний, причем часто удобно работать с матрицей, приведенной к виду канонической формы Жордана. Такой вид может быть получен, если для матрицы в канонической форме управляемости (которая легко может быть записана из дифференциального уравнения, описывающего систему) найти ее собственные числа. Аналитическое решение этой задачи является труднодостижимым, поэтому для нахождения собственных чисел необходимо применять численные методы, например, метод итераций. Особенности реализации этого метода обусловлены его изначально медленной сходимостью (и даже способностью к потере вычислительной устойчивости) и спецификой исходной матрицы. Задача нахождения обратной матрицы возникает, например, при построении системы оптимального управления. Синтез как оптимального наблюдателя, так и оптимального регулятора производится на основе решения матричного уравнения Риккати, требующего расчета обратной матрицы. Еще одной областью, требующей нахождения обратной матрицы, является решение задачи идентификации с помощью построения модели с использованием авторегрессии и скользящего среднего. Нахождение обратной матрицы в случае большой размерности задачи также проще реализуется с помощью численных методов. Среди всех существующих методов наиболее приемлемым представляется метод Гаусса.

УДК 681.5.07

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАКОНА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОГРЕШНОСТИ ВЫЧИСЛЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ЭНТРОПИЙНЫХ ОЦЕНОК**

МАТЮШКИН Д.А., ИГЭУ, г. Иваново  
Науч. рук. доц. ТЕТЕРЕВКОВ И.В.

Современные цифровые системы реализуют множество алгоритмов, предназначенных для обработки данных и управления объектами. Если в качестве исходных используются данные, полученные с помощью измерений технологических параметров, то (вследствие наличия погрешности измерений) результат расчета будет определен с некоторой погрешностью. Основная сложность при оценке метрологических

показателей результатов вычислений состоит в невозможности предсказания закона распределения результирующей погрешности, от которого зависит значение квантильного множителя, вместе со средним квадратическим отклонением (СКО) определяющим ширину доверительного интервала. Наиболее распространена ситуация, когда распределение погрешности считается нормальным и в лучшем случае эта гипотеза проверяется на непротиворечивость с помощью критериев согласия. В качестве основания такого решения обычно ссылаются на центральную предельную теорему. Более перспективен подход, когда с помощью имитационных процедур получается выборка значений погрешности результата, а затем производится оценка вида закона распределения с использованием классификации законов в плоскости «энтропийный коэффициент – контрэкссесс». При этом наиболее распространенный класс экспоненциальных распределений (частными случаями которых являются нормальное и равномерное) описывается линией в указанной плоскости (автором получен интерполяционный полином 5-го порядка, воспроизводящий эту линию с достаточной точностью), а двухмодальные и уплощенные распределения – известными подобластями.

Автором проведен следующий эксперимент. Выборки значений с экспоненциальным законом распределения с различными параметрами  $\alpha$  подвергались фильтрации с помощью усредняющего фильтра с шириной окна 5. При этом результирующая выборка далеко не всегда соответствовала нормальному закону. Так, для  $\alpha = 0,25$  в ходе фильтрации получено двухмодальное распределение с параметрами  $a = 1,45$ ;  $\alpha = 0,625$ ;  $\sigma_{\text{экс}} = 0,138$  и  $C_d = 1,048$ . В этом случае квантильный множитель (при  $p = 0,95$ ) равен 7,233, что в 3,7 раза превышает квантильный множитель нормального распределения. Это наглядно показывает преимущество использования энтропийных оценок.

УДК 004.41

## **ПРИМЕНЕНИЕ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ В ДИСЦИПЛИНЕ «ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ»**

РЯБЫХ И.А., КАЛЯКОВ И.В., ШАКИРОВ М.М., КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. канд. техн. наук, доц. БОГДАНОВ А.Н.

Благодаря высокой информатизации общества, доступности и развития микропроцессорных устройств и сети Интернет, дополненная реальность перестала быть чем-то невероятным и всё чаще используется в повседневной жизни.

Применение дополненной реальности в образовании расширяет и создает новые возможности и инструментарий при работе с учебными материалами. Примером одного из вариантов использования данной технологии в образовании является разработанное приложение дополненной реальности к методическим указаниям по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Технические средства автоматизации».

Приложение анимировано и интерактивно отображает на экране мобильных устройств классификацию измерительных преобразователей давления, датчики разности давления (на примере «КЭР-АИП-01») и расходомеры, схемы подключения дифманометров и другую информацию. Для датчиков отображается их устройство, применение, схемы подключения и монтажа.

Достоинствами данного приложения являются наглядность и интерактивность. Наглядность позволяет визуально и детализировано рассмотреть и быстрее понять устройство средства измерения. Интерактивность позволяет разобрать датчик и схему, запустить, остановить и внести воздействия в технологический процесс. Сочетание интересной и удобной визуализации с возможностью взаимодействия повышает усваиваемость получаемых знаний.

В любое время студент может с помощью данного приложения получить необходимую ему информацию по изучаемому материалу, наведя камеру мобильного устройства на отмеченное изображение в учебном методическом пособии.

Однако электронные ресурсы не должны заменять реальные объекты. Данное приложение может использоваться только как дополнительный инструмент, который необходимо применять дома. Но, придя в лабораторию, студент должен видеть реальные датчики и примеры монтажа на объекте.

УДК 621.311.22:681.5(075.8)

## **ПРИКЛАДНОЙ ПРОЕКТ В SCADA TЕСON СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЕРЕГРЕТОГО ПАРА КОТЛА-УТИЛИЗАТОРА**

САХАРОВ А.И., ИГЭУ, г. Иваново

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

Парогазовая технология в последнее время стала самой применяемой в мировой теплоэнергетике. Здесь на ее долю приходится до двух третей всех вводимых на сегодня генерирующих мощностей.

Регулятор температуры перегретого пара является одним из главных и наиболее важных регуляторов котла-утилизатора в составе парогазовой установки (ПГУ). При разработке проекта применены инновационные технологии создания АСУ ТП на базе ПТК ТЕКОН.

Объектом управления является двухконтурный котел-утилизатор типа Е-236/40,2-9,15/1,5-515/298-19,3 вв Кировской ТЭЦ-3.

Целью работы является исследование особенностей полигонных испытаний системы автоматического управления (САУ). Разработка прикладного проекта заключается в программной реализации функций управления, разработке отладочного стенда, реализующего имитационную модель объекта, разработке интерфейса рабочего места оператора и проверке работоспособности технологических программ. Новизной, определяющей актуальность работы, является то, что в целях минимизации времени при проверке фазировок подключения сигналов в САУ снято ограничение на применение эмулятора контроллера, который работает в режиме реального времени.

Имитационная модель объекта создавалась методом структурного синтеза, по той же технологии в SCADA TECON что и при создании САУ. Она заключается в использовании графического редактора и библиотеки типов, а все технологические объекты формируют единую базу данных проекта. Имитационные модели содержат модели датчиков, исполнительных устройств и объекта управления, обеспечивают необходимую проверку САУ с уменьшением временных затрат на выполнение работ.

После создания прикладного проекта системы регулирования температуры перегретого пара котла-утилизатора проведены испытания. В результате алгоритм управления подготовлен к следующему этапу – настройке. Такой подход может быть рекомендован как предварительный этап освоения данной САУ в составе полигона АСУТП.

УДК 620.9:662.6

## **ПОДГОТОВКА ПОПУТНОГО НЕФТЯНОГО ГАЗА К СЖИГАНИЮ НА ОБЪЕКТАХ МАЛОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**

ХУСНУТДИНОВ А.Н., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. хим. наук, доц. НИКОЛАЕВА Л.А.

Нефть и газ – самые важные виды сырья в мире. Особое место в нефтегазовой промышленности занимает попутный нефтяной газ (ПНГ). Нефтяные компании все больше внимания уделяют проблеме рационального использования попутного газа. Активизации этому процессу поспособствовало принятое Правительством Российской

Федерации постановление № 7 от 8 января 2009 года, в котором заложено требование по доведению уровня утилизации попутного газа до 95 %. Многие компании России, в том числе ОАО «Татнефть» (98 %), вышли на этот уровень. В Республике Татарстан многие предприятия ПНГ используют как топливо для энергогенерации в технологических процессах и котельных.

Попутный нефтяной газ является важным сырьем для энергетики и химической промышленности. ПНГ имеет высокую теплотворную способность, которая колеблется в пределах от 9 000 до 15 000 Ккал/м<sup>3</sup>, но его использование в энергогенерации затрудняется нестабильностью состава и наличием большого количества примесей, что требует дополнительную очистку («осушку») газа. В отличие от известного всем природного газа, ПНГ содержит в своем составе кроме метана и этана большую долю пропанов, бутанов и паров более тяжелых углеводородов. Во многих попутных газах, в зависимости от месторождения, содержатся также неуглеводородные компоненты: сероводород и меркаптаны, углекислый газ, азот, гелий и аргон.

При подготовке ПНГ к сжиганию из всего спектра существующих методов очистки газа рассматривается адсорбционный метод. По сравнению с другими технологиями адсорбционные процессы обеспечивают значительно более высокую степень защиты окружающей среды. Существующие способы очистки газов можно разделить на три основные группы: 1 – абсорбция жидкостями (так называемая мокрая очистка); 2 – адсорбция твердыми поглотителями; 3 – каталитическая очистка.

Использование адсорбентов для очистки ПНГ является приоритетным направлением, поскольку имеет массу преимуществ. К ним относятся возможность очистки от влаги и тяжелых углеводородов, легкость регенерации адсорбента.

УДК 681.515

## **РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЕМ ОБРАТНОГО МАЯТНИКА**

ЧЕРНОВ В.А., КНИТУ-КАИ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. КИРСАНОВ А.Ю.

В докладе рассмотрены результаты разработки лабораторного стенда для управления положением обратного маятника. Подобный стенд необходим для изучения особенностей работы быстродействующих систем регулирования и отработки алгоритмов регулирования объектами с неустойчивым равновесием.

Принцип работы установки заключается в следующем: при выставлении маятника в исходное (вертикальное) положение он находится в состоянии неустойчивого равновесия и стремится выйти из него (упасть). Задача системы заключается в удержании маятника в состоянии неустойчивого равновесия. В качестве исполнительного механизма, непосредственно воздействующего на положение маятника, используется шаговый двигатель, поворачивающий опору маятника.

В процессе работы контура регулирования сравнивающее устройство формирует сигнал рассогласования (отклонения) текущего положения маятника от вертикали. Структурная схема контура регулирования показана на рис. 1.

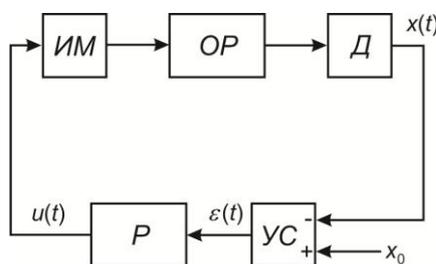


Рис. 1. Структурная схема контура регулирования: ИМ – исполнительный механизм; ОР – объект регулирования; Д – датчик; УС – устройство сравнения; Р – регулятор

В зависимости от результата сравнения начинает работать либо алгоритм подъёма для вывода маятника в рабочую область удержания, либо алгоритм регулирования для удержания маятника в состоянии равновесия.

Результаты разработки внедряются в учебный процесс кафедры радиоэлектроники и информационно-измерительной техники КНИТУ-КАИ по дисциплине «Автоматизированные системы измерения, контроля и управления».

УДК 681.5.08

## РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СБОРА ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ

ШАМГУНОВ И.И., КНИТУ-КАИ, г. Казань  
 Науч. рук. канд. техн. наук, доц. КИРСАНОВ А.Ю.

Одной из важных задач при выполнении операций измерения, контроля и управления в промышленности, а также проведении научных исследований и учебных экспериментов является автоматизированный

сбор измерительной информации и ее ввод в ЭВМ для последующей обработки, отображения и архивирования. На сегодняшний день существует большой выбор устройств ввода–вывода аналоговых и цифровых сигналов, выпускаемых промышленно различными производителями. Стоимость таких устройств может быть достаточно высокой, что ограничивает возможность их применения при автоматизации учебных и научных экспериментов в высшем профессиональном образовании (ВПО) и среднем профессиональном образовании (СПО).

В работе поставлена задача разработки устройства сбора данных для автоматизации измерений в учебных лабораторных практикумах. Структурная схема устройства показана на рис. 1. Его особенностями являются: 1) возможность управления от персонального компьютера; 2) возможность синхронной генерации и измерения аналогового напряжения; 3) наличие двунаправленных цифровых линий для управления внешними устройствами.

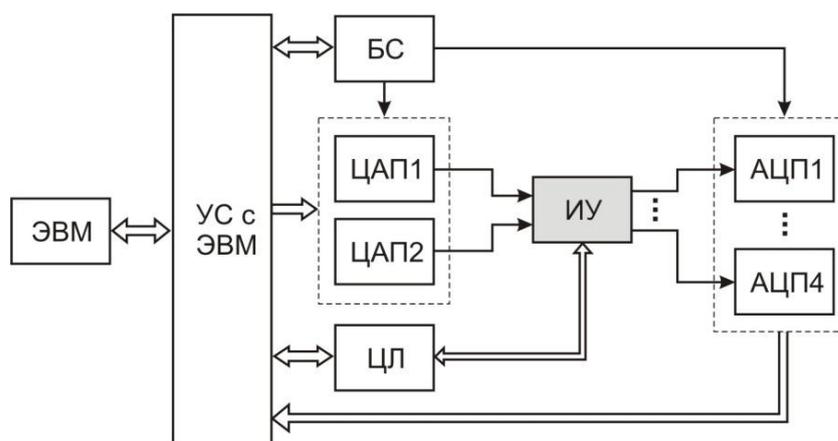


Рис. 1. Структурная схема устройства сбора данных: УС – устройство сопряжения; БС – блок синхронизации; ЦЛ – цифровые линии; ЦАП – цифро-аналоговый преобразователь; АЦП – аналого-цифровой преобразователь; ИУ – исследуемое устройство

Работа выполняется на кафедре радиоэлектроники и информационно-измерительной техники. Планируется внедрение в учебный процесс для автоматизации лабораторных практикумов по дисциплинам «Основы теории электрических цепей» и «Радиотехнические цепи и сигналы».

УДК 001.92

## **РАЗРАБОТКА КОНСТРУКТОРОВ ПО ЭНЕРГЕТИКЕ**

ШАМСИЯРОВ А.Н., ГАТИЯТУЛЛИН Б.Р., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук, асс. ДАНИЛОВ В.А.;

канд. техн. наук, доц. БОГДАНОВ А.Н.

Конструирование – давно известное ремесло, все началось с того, что человечество начало прогрессировать. В старину люди вручную воссоздавали различные изделия из глины, бумаги, дерева. Строили уменьшенные модели существовавших в то время кораблей, делали уменьшенные модели армии для проработки тактики войны и т.д.

Пользу конструкторов при развитии детей трудно переоценить. Простые конструкторы способствуют развитию зрительно-моторной координации, внимания, аккуратности, памяти, усидчивость, многозадачности и воображения, логики и нестандартного мышления.

Современные конструкторы с использованием микропроцессоров (по робототехнике) позволяют обучать детей и прикладному программированию. Среди конструкторов по энергетике есть лишь один известный отечественный бренд – «ЗНАТОК». Нами проделана работа над созданием отечественного конструктора по энергетике с использованием микропроцессоров. В 2014 году был собран свой первый 3D-принтер. Это позволило организовать трехмерную печать моделей. Статистика показывает, что обучение эффективнее, когда теория закрепляется практикой. Обучаемые осваивают материал лучше, когда видят реальные объекты и разбираются в технологии работы устройства. Но зачастую нет такой возможности из-за труднодоступности, отсутствия допуска и прочим причинам.

Целью работы является создание отечественного конструктора для детей по доступной цене с максимальной функциональностью. С малых лет хотелось бы заинтересовать и вовлечь их в энергетику; дать понять значимость этой сферы. Дети, которым с детства нравятся такие вещи, стараются учиться и работать в этом направлении.

Наш конструктор представляет собой физические модели, из которых можно собрать паровую турбину, котел и другие элементы, использующиеся при выработке и передаче электроэнергии потребителям. Встраиваемая электроника и сенсоры позволяют отследить правильность сборки, а также при необходимости показать ошибки.

Разработка данного конструктора на базе Молодежного инновационного центра КГЭУ позволяет проводить апробацию и находить наиболее оптимальные варианты, благодаря партнерским школам и участию в проекте студентов младших курсов.

## **СЕКЦИЯ 6. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ВОДНЫХ БИОРЕСУРСОВ И АКВАКУЛЬТУРА**

УДК 631.86

### **МЕТОДЫ УТИЛИЗАЦИИ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД**

АБДУЛЛИН Р.Р., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р биол. наук, проф. КАЛАЙДА М.Л.

Утилизация осадков сточных вод в современном мире является важной задачей. Урбанизация, рост водопотребления промышленным сектором и населением приводит к увеличению образования осадков сточных вод. Особенно остро проблема утилизации наблюдается в странах с высокой плотностью населения при малых территориях.

Распространенными методами утилизации осадков сточных являются:

- заполнение иловых полей с последующим вывозом и захоронением на полигонах;
- применение мембранных нетканых материалов для обезвоживания осадка с последующей утилизацией;
- размещение на полигонах твердых бытовых отходов в качестве прослойки;
- термическая сушка с последующим использованием в строительстве:
  - а) сжигание в печах в качестве топлива при производстве цемента и золы осадков сточных вод в строительных смесях;
  - б) применение осушенного осадка в строительстве кирпичей и блоков;
- карбонизация осадка сточных вод с последующим применением в дорожном строительстве;
- анаэробное брожение как в термофильном, так и в мезофильном режиме с целью получения биогаза;
- компостирование осадков сточных вод с последующим использованием в сельском хозяйстве и городском озеленении.

Разрабатываемые методы утилизации:

- вермикомпостирование осадков сточных вод для увеличения плодородия и ремедиации земель;
- сверхокисление водой при высоких температурах и давлении ( $T > 374,15 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $P > 22,12 \text{ МПа}$ );
- прямое термохимическое сжижение для получения бионефти;
- низкотемпературный пиролиз с целью получения бионефти.

Выбираемый метод утилизации осадков сточных вод всегда связан с условиями их хранения и возможностями предприятия. Важно вовлекать в сельскохозяйственный оборот земли, занимаемые под иловые поля, в связи с этим использование вермикультуры, на наш взгляд, является наиболее экологичным методом, позволяющим, помимо утилизации осадков сточных вод, повысить плодородие земли.

УДК 639.3

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ САДКОВ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ РЫБЫ В РЫБОВОДНЫХ ХОЗЯЙСТВАХ ИРАКА И РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН**

АЛ ХАМАДАНИ А.Ш., КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. д-р биол. наук, проф. КАЛАЙДА М.Л.

В основу садкового рыбоводства в России был положен опыт содержания живой рыбы до продажи в садках, а в Древней Руси – в «сажалках». В 60–80-х годах XX века были заложены нормативы по выращиванию рыб в садках в естественных водоемах. Основоположителем садкового метода выращивания в России был П.В. Михеев. Этот период был связан с развитием садкового рыбоводства на озерах.

Новый этап развития садкового рыбоводства связан с использованием теплых вод водоемов-охладителей ГРЭС. Устройство садковых линий на теплых водах позволило включить в садковое рыбоводство основной объект выращивания на теплых водах – быстрорастущие породы карпа.

Возможность установки садков на понтонах разного типа позволяет размещать их практически в любом месте водоёма при наиболее благоприятных условиях, а также перемещать в зависимости от температурных условий и скорости течения. Преимущества садкового рыбоводства в сравнении с иными типами рыбоводных хозяйств – относительно небольшие капиталовложения при возведении хозяйств и высокая плотность посадки.

В Ираке, где карпа выращивают во всех городах, рыбоводные хозяйства приурочены к крупным рекам – Тигру и Ефрату. Поскольку в Ираке засушливый жаркий климат, то рыбоводные хозяйства в настоящее время представлены садковыми хозяйствами на базе рек.

В Республике Татарстан садковое рыбоводное хозяйство размещено на Заинском водохранилище (2 тыс. га), которое является водоемом-охладителем ЗайГРЭС. В Ираке в садковых частных рыбоводных хозяйствах основными объектами выращивания являются карп, белый амур и белый толстолобик, которые содержатся в поликультуре в металлических садках глубиной около 2 м и площадью поверхности 4 м<sup>2</sup>. Плотность посадки рыб в садках – около 50 экз/м<sup>3</sup> при их массе до 500 г. Соотношение рыб по видам во всех хозяйствах примерно одинаково: в одном садке содержится около 400 разновидностей рыб, из которых до 80 % – карп, а остальные – белый амур и белый толстолобик.

В России в основном используются садки из капроновой дели с разным размером ячеек. Наиболее частая плотность посадки рыб – 40–100 кг/м<sup>3</sup>.

УДК 556.541.32

## **РАСТИТЕЛЬНЫЕ ДОБАВКИ К КОРМАМ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ КАРПА**

АЛ-САДУН Р.А., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. хим. наук, доц. ЛАПИН А.А.

Несмотря на широкий ассортимент на ветеринарном рынке белковых, витаминных и пробиотических добавок зарубежного производства, имеющих высокую стоимость и узкий спектр эффективности, остается актуальной разработка комплексных функциональных кормовых добавок с использованием различных растительных компонентов.

В России длительное время широко применялась витаминно-травяная мука как источник витаминов и биологически активных веществ, способствующих повышению сохранности и продуктивности рыб. Для большинства биологически активных веществ зеленой массы растений, играющих важнейшую роль в качестве антиоксидантов и биостимуляторов, практически нет альтернативной искусственной замены, это делает перспективным использование натуральных растительных биодобавок в кормлении карпа. По последним данным

литературы, применяя белково-витаминную муку сухой травы амаранта в России, можно перейти к производству экологически безопасной животноводческой добавки без применения кормовых антибиотиков, соответствующей мировым стандартам качества.

Учитывая то, что амарант является перспективным сырьем не только для получения высококачественных белков, но и для разработки и производства биологически активных кормовых добавок широкого спектра действия для животноводства, становится актуальным использование кормовых добавок из этой травы и для выращивания рыбы.

Целью данной работы является исследование возможности применения в рыбных комбикормах новых растительных добавок из амаранта.

На основе критического анализа научной литературы предложены принципы использования в комбикормах для разведения карпа новых растительных добавок из амаранта. Нами проведена сравнительная оценка листьев различных сортов амаранта с традиционными растительными культурами, применяемыми в рыбоводстве: люцерной, виноградными выжимками (высушенными отходами, которые получают при изготовлении соков и вина – ветки, зерна, шелуха, мякоть) и другими культурами.

УДК 639.3

## **ПРЕИМУЩЕСТВА ГИПОФИЗАРНОГО ИНЪЕЦИРОВАНИЯ ПРИ ВОСПРОИЗВОДСТВЕ РЫБ**

АЛЬ-БАЧРИ В.С., КГЭУ, г. Казань

Науч.рук. д-р биол. наук, проф. КАЛАЙДА М.Л.

Современное производство аквакультуры стремится обеспечить низкую стоимость, высокое качество продукции в соответствии с рыночным спросом. Обеспечение потребительского спроса продукцией рыбоводства требует надежной производственной системы, которая начинается с постоянного производства икры и мальков. Для этого необходим контроль за овуляцией и нерестом для повышения репродуктивной производительности.

Для Ирака так же, как и для России, карп является одним из самых распространенных и важных видов рыб, разводимых искусственно разными способами в рыбоводных хозяйствах. Карп занимает ведущее место в мире из-за его хорошей адаптации к различным условиям содержания и разведения. Однако если в условиях Республики Татарстан

можно получить только одно поколение рыб в год за счет естественного нереста, то в условиях Ирака (с более теплым климатом) естественный нерест может проходить несколько раз в течение одного года. Искусственный процесс оплодотворения является дополнением к естественному процессу созревания рыбы, а введение гормона стимулирует завершение процесса развития икры в пределах яичника и помогает стимулировать процесс овуляции.

Разработка и совершенствование метода гипофизарного инъецирования шли по основным направлениям: разработка методики сбора сырья (гипофизов), изготовления и стандартизации препаратов для гормональной стимуляции нереста рыб; выявление таксономической специфичности действия гипофизов разных видов; определение доз и оптимальных схем введения препаратов в организм рыбы.

В настоящее время гипофизарные препараты широко используются в аквакультуре России и Ирака. В России кроме гипофиза в инъецировании используется более 20 подобных по действию препаратов, среди которых: прогестерон, синтетический гонадотропин хорионический, гонадолиберин и др. Особо надо отметить, что разработанные препараты серии Нерестин обладают также противострессовыми, заживляющими раны свойствами.

Дороговизна таких препаратов в странах Ближнего Востока делает актуальной проверку эффективности российских аналогов гормонального препарата гипофиза в климатических условиях Ирака.

УДК 574.583(282)

## **КАЧЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ ФИТОПЛАНКТОНА ЗАИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В РАЗНЫЕ СЕЗОНЫ ГОДА**

ГРЕЧУХИНА Л.Г., ГосНИОРХ, г. Казань  
Науч. рук. канд. биол. наук СЕВЕРОВ Ю.А.

Заинское водохранилище расположено в 70 км от устья реки Степной Зай – левого притока реки Камы. В 2014 г. были проведены исследования качественного состава – фитопланктона данного водоема. Отбор проб фитопланктона осуществляли на 10 станциях в летний (июль) и осенний (октябрь) периоды зачерпыванием с поверхности 0,5 л воды с последующей фиксацией 4 % раствором формальдегида. Обработку проб выполняли по стандартной методике (Водоросли, 1989).

В результате проведенных исследований в составе фитопланктона Заинского водохранилища выявлено 56 видов водорослей из 4-х отделов.

На десяти станциях в Заинском водохранилище, отобранных в летний период, было обнаружено 33 таксона планктонных водорослей рангом ниже рода из 4-х отделов. Основу таксономического спектра составляли зеленые водоросли – 17 видов (51,5 % от общего числа видов), затем следовали диатомовые – 11 видов (33,3 %), сине-зеленые – 4 вида (12,1 %) и желто-зеленые – 1 вид (3,1 %). В пробах, собранных осенью, было обнаружено 23 таксона водорослей рангом ниже рода из 3-х отделов. По числу видов значительно преобладали диатомовые водоросли – 20 видов (87 % от общего числа видов), затем следовали зеленые – 2 вида (8,7 %) и желто-зеленые – 1 вид (4,3%).

Наивысшее таксономическое разнообразие в районе исследования отмечалось в летний период. В это время основной вклад в видовой комплекс фитопланктона изученных участков вносили зеленые водоросли родов: *Scenedesmus*, *Pediastrum*, *Coelastrum*. В осенний период в составе фитопланктона изученных участков по разнообразию таксонов выделялись диатомовые водоросли родов: *Navicula*, *Fragilaria*, *Melosira*, *Synedra*.

Проведенные исследования позволили установить состав и изменение фитопланктонного сообщества Заинского водохранилища в разные периоды наблюдений. Выявленные изменения, прежде всего, связаны с естественной сукцессией сообществ в течение года.

УДК 639.3

## **АНАЛИЗ ОПЫТА В ОБЛАСТИ ФОРЕЛЕВОДСТВА НА ПРИМЕРЕ БИСЕРОВСКОГО РЫБОКОМБИНАТА**

ДЕМЕНТЬЕВ Д.С., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р биол. наук. проф. КАЛАЙДА М.Л.

Бисеровский рыбокомбинат является основным производителем радужной форели в Московской области. В садковых линиях на водоемах рыбокомбината выращивается до 90 т товарной форели и около 12 т посадочного материала. Для увеличения объема выращивания товарной рыбы этого вида был разработан проект по строительству цеха по круглогодичному выращиванию молоди форели из оплодотворённой икры до средней навески 100 г и общей ихтиомассой около 25 тонн. Ввод цеха в эксплуатацию был осуществлён в марте 2010 года, в результате чего общий объём товарной форели, выращиваемой ежегодно на предприятии, достиг 350–400 тонн.

Впервые в условиях Бисеровского рыбокомбината было проведено комплексное исследование по использованию артезианской воды в системе замкнутого водообеспечения при интенсивном производстве рыбопосадочного материала форели. Исследовались такие технологические этапы, как инкубация икры, выращивание рыб разного возраста, применение эрлифтов в оптимальных кислородных и температурных условиях.

Оптимизация факторов среды в установках замкнутого водоснабжения (УЗВ) позволяет в 3–6 раз сократить время их выращивания, созревания производителей и формирования маточных стад, круглогодично получать жизнестойкую молодь и крупный посадочный материал. Одновременно достигается высокая выживаемость выращиваемых объектов, обеспечивается локализация и предотвращение массовых заболеваний. Использование сверхплотных посадок (200 шт./м<sup>3</sup> и выше) позволяет достигать в 1000–2000 раз большую рыбопродуктивность по сравнению с прудовыми хозяйствами и, соответственно, сокращать занимаемую площадь и трудозатраты на единицу продукции. Данная УЗВ представляет собой низконапорную установку, в которой движение воды осуществляется за счет подъема ее эрлифтом на высоту около 20 см. Такой способ приведения воды в движение позволяет минимизировать расходы на электроэнергию и одновременно с этим движением осуществлять насыщение ее кислородом. УЗВ предназначена для выращивания молоди форели массой до 100 г при минимальном уровне потребления подпитывающей воды. Рабочая глубина воды в установке – 120 см, общий объем воды – около 500м<sup>3</sup>.

УДК 639.3:282 К26

## **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОСПРОИЗВОДСТВА МОЛОДИ РЫБ НА УЧАСТКЕ КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В РАЙОНЕ ГОРОДА КАЗАНИ**

КАРУСЕВА А.Ю., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. биол. наук, преп. ГОРДЕЕВА М.Э.

Куйбышевское водохранилище – один из крупнейших реконструированных водоемов мира и самый крупный в Европе – было создано в среднем течении реки Волги. С самого начала своего существования водохранилище находится под пристальным вниманием исследователей, освещающих развитие как его экосистемы в целом, так и отдельных

компонентов. Особое значение в изучении состояния экосистемы имеет исследование его конечного трофического звена – рыб и, в частности, их воспроизводства, эффективность которого определяется успешностью нереста, выживаемостью молоди на первом году жизни, а также факторами внешней среды, которые оказывают на рыб большое влияние.

Цель научного исследования заключается в оценке эффективности воспроизводства молоди рыб на трех станциях Волжского отрога Куйбышевского водохранилища (ст. Аракчино, Болгарский участок и остров Маркиз). Оценка производилась путем сравнения размерной, весовой, возрастной характеристики, упитанности, количественного и качественного состава пищевого комка преобладающих видов рыб Волжского отрога Куйбышевского водохранилища (уклея (*Alburnus alburnus* L.), лещ (*Abramis brama* L.), окунь (*Perca fluviatilis* L.)).

Полученные данные были статистически обработаны путем проверки гипотез о характере распределения и получения основных статистических показателей (среднее значение, стандартное отклонение, стандартная ошибка, коэффициент вариации и т.д.). Был сделан вывод, что среди анализируемых участков наиболее эффективное воспроизводство молоди рыб наблюдается вблизи ст. Аракчино.

УДК 574.4./5

## **ДРЕЙССЕНА В СОСТАВЕ МАКРОЗООБЕНТОСА НИЖНЕКАМСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА**

РЯБИНСКИЙ Н.А., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р биол. наук, проф. КАЛАЙДА М.Л.

Моллюски *Dreissena* в Нижнекамском водохранилище играют важную роль в формировании его гидробиоценоза.

В водохранилище можно выделить две основные экологические зоны обитания бентофауны – глубоководные участки бывшего русла Камы и ее главных притоков и мелководные участки затопленной поймы этих рек. Затопленные пойменные участки сильно закоряжены в результате залития территории. Ложе русел рек представлено песчаными либо песчано-гравийными грунтами, заиленными в слабой степени. В верхней части водохранилища затопленная пойма при настоящем уровне воды практически отсутствует.

В работе использованы материалы, отобранные на Нижнекамской ГЭС в августе. Пробы отобраны с восьми станций по 2 выемки грунта.

Одновременно с взятием проб на исследуемых участках измерялись глубина, температура воды и определялся характер грунта.

Среди дрейссены доминировали группы с двумя типами рисунков на раковине: с зебровидным (26,5 %) и радиальным (26,5 %).

В ходе наблюдений преобладали моллюски в размерном диапазоне от 6 до 8 мм, которые составили 25 % от общего количества. Меньше всего моллюсков – со створками от 16 до 18 мм (2 %). Отмечено увеличение размера створок моллюсков с ростом глубины: на глубине 1,3 м средняя длина составила 7 мм, а на 6,5 м – 14,8 мм. Максимальная численность моллюсков отмечена (1340 экз/м<sup>2</sup>) на глубине 5,5 м.

Численность не зависит от глубины. На глубине 1,3 м численность составляет 820 экз/м<sup>2</sup>, а на 6,5 м – 760 экз/м<sup>2</sup>.

Максимальное значение биомассы наблюдалось на илисто-песчаном (211,9 г/м<sup>2</sup>) и илистом грунте (98,2 г/м<sup>2</sup>), а минимальное – на песчано-илистом (29,7 г/м<sup>2</sup>).

Максимальное значение численности зафиксировано на илистом грунте (1340 экз/м<sup>2</sup>), а минимальное (480 экз/м<sup>2</sup>) – на илисто-песчаном.

УДК 574.24

## **ОСОБЕННОСТИ СКОРОСТИ РОСТА И ВОСПРОИЗВОДСТВА *DAPHNIA MAGNA* ПРИ КУЛЬТИВИРОВАНИИ НА РАЗЛИЧНЫХ КОРМАХ**

СОРОКИНА А.А., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. канд. биол. наук, доц. ГОВОРКОВА Л.К.

Проблема поиска и совершенствования технологической схемы культивирования мелких беспозвоночных как «стартового» корма для подращивания личинок рыб, несмотря на определенные успехи, не теряет своей актуальности в связи с дальнейшим развитием рыбоводства и переходом на индустриальные методы выращивания рыбы.

При определении продукции видовых популяций бывает необходимым характеризовать интенсивность или скорость размножения и плодовитость животных при различных условиях. Интенсивность размножения, определяемая средним числом яиц в помете и частотой их откладки, может быть выражена средним количеством яиц, отложенных одной самкой за единицу времени. Плодовитость определяют как среднее число яиц в кладке. Кормовая база на плодовитость животных

в естественных условиях осуществляется через их влияние на размеры тела, так как она непосредственно связана с размерами самок, продуцирующих яйца. Повышение плодовитости с увеличением концентрации корма показано в экспериментах на многих гидробионтах. С другой стороны, в естественных условиях, где могут действовать два и больше фактора, изменение плодовитости в отдельных случаях также тесно коррелирует с концентрацией пищи. Естественно предположить, что плодовитость животных зависит от концентрации пищи до некоторой определенной величины. Концентрация пищи, при которой достигается максимальная плодовитость, должна быть разной у видов, различающихся экологически. Максимум плодовитости у *Daphnia cucullata*, живущего при низких концентрациях пищи, следует ожидать при меньших ее концентрациях, чем у *Daphnia magna*, обычно встречающегося при высоких концентрациях пищи.

Наилучшей питательной средой для культуры являются сине-зеленые водоросли, дрожжи (*Sacromyces spp* и схожие грибы) и бактерии. Комбинация вышеуказанных объектов делает успешным процесс поддержания культуры (дрожжи и водоросли дополняют друг друга).

УДК 59.009

## **ВИДОВОЙ СОСТАВ ИХТИОФАУНЫ ВОЛЖСКО-КАМСКОГО ПРИРОДНОГО БИОСФЕРНОГО ЗАПОВЕДНИКА (САРАЛИНСКИЙ УЧАСТОК, РЕСПУБЛИКА ТАТАРСТАН)**

УДАЧИН С.А., ГосНИОРХ, г. Казань

Науч. рук. канд. биол. наук, доц. ШАКИРОВА Ф.М.

Волжско-Камский природный биосферный заповедник, входящий в систему биосферных резерватов ЮНЕСКО, организованный в 1960 году, призван сохранить на своей территории уникальные природные ландшафты древней долины Средней Волги.

Современная ихтиофауна Куйбышевского водохранилища в акватории Волжско-Камского природного биосферного заповедника (Саралинский участок), согласно официальным данным, включает 40 видов рыб. В составе сетных уловов в период исследований (2014–2015 гг.) зарегистрировано 14 видов, включающих плотву, щуку, речного окуня, леща, серебряного карася, густеру, судака, синца, чехонь, берша, жереха, белоглазку, сазана, язя и стерлядь. Доминирующими видами по биомассе в уловах 2014–2015 гг. являются лещ (16 %), сазан (23 %), плотва (13 %) и густера (15 %).

Последние ихтиологические исследования в акватории Саралинского участка проводились в весенне-летний периоды в конце 60-х – начале 70-х г.г. прошлого столетия. Согласно неопубликованным данным, видовой состав уловов тех лет складывался из: леща, окуня, густеры, плотвы, синца, щуки, чехони, белоглазки, берша, стерляди, красноперки, язя. Кроме того в уловах фиксировался подуст обыкновенный, ныне занесенный в Красную Книгу Республики Татарстан. Массовым видом в уловах тех лет была плотва (46,5 % от общего улова); лещ (9,9 %) по численности уступал густере (18 %), десятую часть уловов составляла чехонь (10 %). В 2014–2015 гг. чехонь либо не фиксировалась, либо в отдельные сезоны от общего улова не превышала 3 %. В уловах 60–70-х годов красноперка и белоглазка составляли 3,45 и 1,66 %, в то время как в 2014–2015 гг. данные виды практически не отмечались.

Результаты работ по наблюдению за нерестом рыб в акватории заливов заповедника в 2014–2015 гг. показывают, что Куйбышевское водохранилище в зоне влияния Волжско-Камского природного биосферного заповедника в качестве мест нереста используется такими видами рыб, как: густера, уклейка, лещ, жерех, красноперка, язь, карась, сазан, синец, плотва, щука, окунь.

УДК 574.4/.5

## **ИЗМЕНЕНИЯ ВИДОВОГО РАЗНООБРАЗИЯ ЗООПЛАНКТОНА В РАЙОНЕ СБРОСА СТОЧНЫХ ВОД ОПТИКО-МЕХАНИЧЕСКОГО ЗАВОДА НА РЕКЕ КАЗАНКЕ**

ХАМИТОВА М.Ф., АХМЕРОВА Л.Р., КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. д-р биол. наук, проф. КАЛАЙДА М.Л.

Исследование проводилось летом 2013 г. с 6 станций в районе сброса сточных вод оптико-механического завода выше города Казани по течению реки Казанки. Индексы видового разнообразия (ИВР) зоопланктона были рассчитаны на основании анализа гидробиологических проб по численности и биомассе зоопланктона.

Сточные воды оптико-механического завода попадают в русловую часть р. Казанки по подводному водоводу у пос. Дербышки г. Казани.

В зоопланктоне за весь период исследования были обнаружена 53 вида и формы зоопланктеров: 7 видов и форм коловраток, 22 – ветвистоусых рачков и 6 – веслоногих рачков. Кроме них встречались инфузории, нематоды, личинки насекомых, науплиальные и копеподитные стадии веслоногих рачков, яйца коловраток, дафний, мшанки ползучей и другие водные организмы.

Оценивая видовое разнообразие по индексу Шеннона, можно отметить, что он варьировал выше по течению точки сброса от 1,83 до 3,18, а ниже точки сброса – от 2,5 до 3,45. Для оценки качества вод нами были определены коэффициенты вариации ИВР, рассчитанного по численности и биомассе зоопланктона, которые составили на контрольном участке 20,3–22,9 % для индекса, рассчитанного по численности зоопланктона, и 19,8–24,2 % для индекса рассчитанного по биомассе; на участке в районе сброса они варьировали от 8,0 до 18,2 и 8,1 до 10,4 соответственно.

Коэффициент вариации индекса видового разнообразия Шеннона зоопланктона на контрольном участке по численности был в среднем на 12,3 % ниже, чем в районе сброса, и не превышал 10,4 %. Коэффициент вариации ИВР зоопланктона по биомассе на контрольном участке был в среднем на 4,0 % ниже, чем в районе сброса, и не превышал 10,4 %. Эти данные свидетельствуют о наличии загрязнения в реке выше сброса сточных вод оптико-механического завода.

УДК 574.4/.5

## **ТИПЫ ПИТАНИЯ У ЛИЧИНОК ХИРОНОМИД В СОСТАВЕ БИОЦЕНОЗА РЕКИ КАЗАНКИ ВЫШЕ ГОРОДА КАЗАНИ**

ХАМИТОВА М.Ф., ГАТАУЛЛИНА Р.З., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р биол. наук, проф. КАЛАЙДА М.Л.

Материалом для данной работы послужили пробы, отобранные в августе и сентябре 2013 г. в районе сброса сточных вод Казанского оптико-механического завода р. Казанки. Пробы отбирались в схожих биоценозах закрытого и открытого побережья выше по течению и в районе сброса сточных вод.

На обследованном участке были обнаружены 22 вида и форм личинок хирономид, которые относятся к трем подсемействам: Chironominae, Orthoclaadiinae, Tanypodinae.

Из подсемейства Chironominae было встречено 18 видов и форм, наиболее встречаемые виды *Polypedilum sp. nubeculosum* (Meigen, 1818) и *P. sp. convictum* (Walker, 1856). Из подсемейства Orthoclaadiinae – 3 вида и формы, из которых наиболее встречаемыми были личинки *Cricotopus sp. silvestris* (Fabricius, 1794). Из подсемейства Tanypodinae был отмечен – *Procladius ferrugineus* (Kieffer, 1919).

По мнению Константинова А.С., личинки хирономид по способу питания выделены в группы: всеядные и хищные.

Из всеядных личинок хирономид на исследованном участке были обнаружены: *Chironomus plumosus* (Linne, 1758), *Ch. dorsalis* (Meigen, 1818), *Ch. semireductus* (Lenz), *Ch. bathophilus* (Kieff), *Polypedilum sp. Nubeculosum* (Meigen, 1818), *P. sp. Convictum* (Walker, 1856), *Zavrelia* (Kieffer, 1913), *Micropsectra sp. Praecox* (Meigen, 1818), *Tanytarsus sp. Gregarius* (Kieffer, 1909), *Cladotanytarsus sp. Mancus* (Walker, 1856), *Glyptotendipes gripekoveni* (Kieffer, 1913), *Endochironomus tendens* (Fabricius, 1794), *Limnochironomus sp. nervosus* (Staeger, 1839), *L. sp. Tritomus* (Kieffer, 1916), *Microtendipes sp. Chloris* (Meigen, 1818).

Из хищников нами были зарегистрированы: *Procladius ferrugineus* (Kieffer, 1919), *Cricotopus sp. Silvestris* (Fabricius, 1794), *Psectrocladius sp. Dilatatus* (van der Wulp, 1834), *Cryptochironomus sp. Defectus* (Kieffer, 1921), *C.sp. Viridulus* (Fabricius, 1805), *C.burganadzeae* (Tshernovskij).

УДК 574.4/.5

## **ИЗМЕНЕНИЕ ВИДОВОГО РАЗНООБРАЗИЯ ЗООБЕНТОСА И ЗООПЛАНКТОНА В РАЙОНЕ СБРОСА СТОЧНЫХ ВОД МАРИЙСКОГО ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОГО КОМБИНАТА**

ХАМИТОВА М.Ф., ИСЛЯМОВА А.А., КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. д-р биол. наук, проф. КАЛАЙДА М.Л.

Исследование проводилось с августа по сентябрь 2013 г. и с июля по сентябрь 2014 г. Индекс видового разнообразия (ИВР) был рассчитан на основании анализа гидробиологических проб, отобранных со станций внутри вторичного отстойника комбината, выходящего из него сбросного канала, в зоне смешения сточных вод с водами Куйбышевского водохранилища, а также выше и ниже точки сброса сточных вод по течению р. Волги.

В зоопланктоне в эти годы были встречены 89 видов и форм: 18 видов и форм коловраток, 27 – ветвистоусых рачков и 9 – веслоногих рачков. Кроме них, наблюдались инфузории, нематоды, личинки насекомых, науплиальные и копеподитные стадии веслоногих рачков, яйца коловраток, дафний, мшанки ползучей и другие водные организмы. В структуре зообентоса были найдены 65 видов и форм зообентонтов: 17 видов и форм олигохет, 6 – моллюсков, 19 – личинок хирономид. Кроме них встречались полихеты, пиявки, бокоплавцы, мшанки, личинки стрекоз, клопов, жуков, мух и ручейников.

Оценивая видовое разнообразие по индексу Шеннона, можно отметить, что он варьировал как в отстойнике от 0,65 (в августе) до 2,12 (в сентябре), так и на контрольном участке р. Волги – от 0,8 (в августе) до 3,54 (в сентябре). Для оценки качества вод нами были рассчитаны коэффициенты вариации ИВР, которые составили: на контрольном участке в прибрежье – 18 %, на глубоководном – от 20,9 до 38 %; во вторичном отстойнике – от 10 до 100 %; в зоне смешения сточных вод с водами водохранилища – от 20 до 31 %; ниже по течению от точки сброса в прибрежье – 6 %, на глубоководном участке – 33 %. Коэффициент вариации ИВР зоопланктона на контрольном участке варьировал от 5 до 14 %. Во вторичном отстойнике он достигал 67 %, в зоне смешения сточных вод – 24 %. Ниже по течению от точки сброса коэффициент вариации индекса колебался от 11 до 27 %. Коэффициент вариации ИВР на контрольном участке как зоопланктона, так и зообентоса был ниже, чем во вторичном отстойнике.

УДК 574.4/5

## **ИЗМЕНЕНИЕ ВИДОВОГО РАЗНООБРАЗИЯ ЗООБЕНТОСА НА УЧАСТКЕ РЕКИ КАЗАНКИ ВЫШЕ ГОРОДА КАЗАНИ**

ХАМИТОВА М.Ф., ИСМАГИЛОВ Ф.А., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р биол. наук, проф. КАЛАЙДА М.Л.

Исследования макрозообентоса проводились с августа по сентябрь 2013 года. Пробы отбирались с 6-ти основных станций и 1-й дополнительной: 3 станции выше по течению точки сброса и 4 станции в районе сброса.

В результате проведенного исследования в структуре зообентоса были обнаружены 93 вида и формы зообентонтов, из которых 22 – олигохет, 22 – личинки хирономид, 22 – моллюсков и 27 прочих видов и форм, среди них – мшанки, равноногие ракообразные, пиявки, личинки стрекоз и двукрылых насекомых, жуки, кровососущие комары и ручейники.

Количество видов на контрольном участке варьировало от 33 до 39, а в районе точки сброса – от 23 до 35. Для оценки качества вод нами были рассчитаны индексы удельного биотического разнообразия (УБР) и индексы видового разнообразия Шеннона (H).

Считается, что при величине индекса более 3-х – воды «чистые», при индексе менее 1-го – «грязные», а при индексе менее 3-х, но более 1-го – «умеренно-загрязненные».

Индексы видового разнообразия Шеннона на контрольном участке, рассчитанные по численности бентоса, варьировали от 2,4 до 3,8, по биомассе – от 2,3 до 3,3. В районе сброса – от 1,6 до 3,7 и от 0,9 до 3,4 соответственно.

Также нами были рассчитаны коэффициенты вариации индексов видового разнообразия по численности и биомассе зообентоса, которые характеризуют вариабельность видового состава зообентоса на 3-х станциях контрольного участка – 11,9–16,6 % (для индекса, рассчитанного по численности бентоса) и 7,1–13,2 % (для индекса, рассчитанного по биомассе) и 3-х станциях участка в районе сброса сточных вод – от 8,6 до 24,7 % и от 7,1 до 44,4 % соответственно.

Анализ изменения индексов видового разнообразия зообентоса выявил большую вариабельность значений на загрязненном участке реки.

УДК 574.4/5

## **ОБ ОБНАРУЖЕНИИ ВИДА-АККЛИМАТИЗАНТА РОДА *CORNIGERIUS* В СОСТАВЕ ЗООПЛАНКТОНА УСТЬЕВОЙ ЧАСТИ РЕКИ КАЗАНКИ**

ХАМИТОВА М.Ф., КГЭУ, г. Казань

Науч. рук. д-р биол. наук, проф. КАЛАЙДА М.Л.

Полифемиды *Cornigerius* (Pengo, 1879) исторически относятся к истинно морским родам и обитают в пелагиали Каспийского моря. Характерный признак этого рода – наличие на голове «рогов» – парных или раздвоенных выростов хитинового покрова. Хвостовые когти сильно развиты, расходятся в стороны. Раковинка треугольная, заостренная на вершине, реже эллиптическая. Род представлен 4-мя видами, из которых в бассейне Каспия обитают 3.

На сегодняшний день имеются все основания говорить о широкой экспансии полифемид как в морских, так и в пресноводных экосистемах. Расселение полифемид вида *Cornigerius maeoticus* (Pengo, 1879) в водохранилищах Волжского каскада отмечалось с 70-х годов XX века (Вьюшкова, 1971). Сначала вид обнаруживали только в Волгоградском, затем в 1996 году в Саратовском (Попов, 2005) и с 1994 года в приплотинном плесе Куйбышевского водохранилища в количестве от единичных экземпляров до нескольких десятков особей. С начала 2000-х годов отмечается значительное увеличение численности рачков в приплотинном плесе Куйбышевского водохранилища до 2087 экз/м<sup>3</sup> (Бычек, 2005).

Рачки-хищники рода *Cornigerius* были обнаружены нами в июле 2015 года в пелагической зоне на участке р. Казанки между Ленинской и Кировской дамбами г. Казани. Для участка характерны глубина около 2,5 м и прозрачность – 0,80 м. Рачки полифемиды имели численность 60 экз/м<sup>3</sup> или 11,1 % от общей численности клядоцер на данной станции, а биомасса – 1,74 мг/м<sup>3</sup> или 7,9 %. Интересно отметить, что рачки были встречены только на одной из изученных станций данного участка реки с низкой скоростью течения. Они не были найдены в прибрежной зоне водоема (с глубинами 1–2 м) и на русловом участке. Температура воды в районе исследования варьировала от 20,0 до 21,7 °С. Прозрачность воды по диску Секки от 0,7 до 1,2 м.

## СОДЕРЖАНИЕ

## НАПРАВЛЕНИЕ: ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

СЕКЦИЯ 1. ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ  
ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ

<b>Аль Зубайди А.Т.</b> Термодинамические процессы насыщенной пароводяной смеси при сбросе давления . . . . .	3
<b>Ахмадуллин А.М.</b> Определение влияния расположения устройства подачи нагретого катализатора в аппарате псевдооживленного слоя . . . . .	4
<b>Власов А.М.</b> Исследование изменения температуры в рабочем зазоре магнитожидкостного уплотнения вращающегося вала электропривода . . . . .	5
<b>Галиев А.А.</b> Два подхода к расчету поля течения при обтекании пористого тела . . . . .	6
<b>Зинуров В.Э., Хафизова А.И.</b> Выбор метода прогнозирования изменения параметров технического состояния энергетических систем . . . . .	7
<b>Исламова Г.Н., Ахмадуллин А.М.</b> Влияние малых структурных элементов на циркуляционные потоки в реакторе псевдооживленного слоя: численное моделирование гидродинамики и тепломассообменных процессов . . . . .	8
<b>Кувшинов Н.Е.</b> Оптические методы диагностики ингредиентного состава продуктов сгорания энергетических топлив . . . . .	9
<b>Медведева А.С., Попкова О.С.</b> Механизм турбулентного горения однородной смеси . . . . .	10
<b>Медведева П.В., Усанова Л.М.</b> Постановка задачи об определении границы устойчивости термически возбуждаемых пульсационных колебаний газа в цилиндрической трубе . . . . .	11
<b>Мионов А.А., Скрыпник А.Н.</b> Исследования гидросопротивления при поперечном обтекании пучков профилированных труб . . . . .	12
<b>Мионов А.А., Хахимзянов Р.Р.</b> Исследования теплоотдачи и гидросопротивления при внешнем обтекании поверхностных интенсификаторов цилиндрической формы . . . . .	13
<b>Мусин Л.Г.</b> Исследование нестационарного поверхностного трения в турбулентном потоке . . . . .	14
<b>Низамов С.И.</b> Учет недогорания в стационарных газотурбинных установках . . . . .	15
<b>Свилин В.Ю.</b> Термодинамические свойства продуктов сгорания при низких температурах . . . . .	16

<b>Скрышник А.Н., Хакимзянов Р.Р.</b> Исследование гидравлического сопротивления труб с винтовой накаткой, полученной методом деформирующего резания . . . . .	17
<b>Усанова Л.М., Медведева П.В.</b> Параметры факела распыла центробежной форсунки в потоке газа . . . . .	18
<b>Фаздалова А.Р., Галиев А.А.</b> Исследование характеристик фильтра при наличии в нем рабочих повреждений . . . . .	19
<b>Хайрутдинов М.А.</b> Расчет полей концентрации внутри неиспаряющегося факела . . . . .	20
<b>Хурматуллина Л.Ф., Ахмадуллин А.М.</b> Численное моделирование процессов теплообмена в крупномасштабных аппаратах кипящего слоя сложной структуры на примере реактора дегидрирования изопарафинов . . . . .	21
<b>Шаймухаметов М.И., Шаймухаметова А.Ш.</b> Влияние процесса кристаллизации на молекулярное строение некоторых соединений мышьяка . . . . .	22
<b>Шарипов И.И., Шарипова Ф.И.</b> Математическая модель горения зарядов для установок импульсного пожаротушения . . . . .	23
<b>Юдахин А.Е.</b> Метод измерения времени тепловой релаксации и термического демпфирования твердого тела . . . . .	24

## СЕКЦИЯ 2. ПРОМЫШЛЕННАЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

<b>Андреев С.В., Окатов И.М., Щербаков М.С.</b> К разработке плана мероприятий по локализации и ликвидации аварийных ситуаций в системе централизованного теплоснабжения . . . . .	25
<b>Ахметшина А.И., Сиразиева Р.Р., Павлов А.Г.</b> О перспективной технологии сжигания старых железнодорожных шпал в топках-сателлитах . . . . .	26
<b>Багаутдинов И.З.</b> Численное моделирование процессов теплообмена в кожухотрубном теплообменном аппарате с применением кольцевых и полукольцевых выемок . . . . .	27
<b>Бадриев А.И.</b> Метод анализа влияния гидравлической нагрузки на охлаждающую способность башенной градирни . . . . .	
<b>Бударина О.А.</b> Влияние различного вида грунта на распространение акустических сигналов . . . . .	28
<b>Базукова Э.Р.</b> Расчет финансовых потерь при изменении свойств изоляции паропроводов вследствие температурной деструкции . . . . .	29

<b>Гайнетдинов А.В., Шакиров Р.Р., Низамов И.С.</b> Математическое описание экспериментальных данных вязкости водоугольного топлива . . .	31
<b>Гапоненко С.О., Загретдинов А.Р.</b> Решение задачи поиска собственных частот трубопровода . . . . .	32
<b>Долганова Е.С.</b> Оценка эффективности установки автоматизированного теплового пункта . . . . .	33
<b>Дугина А.В.</b> Исследование влияния поверхностно-активных веществ на гидравлическое сопротивление трубопроводов в системах теплоснабжения . . . . .	34
<b>Замалиев А.Н.</b> Способы утилизации илового осадка . . . . .	35
<b>Захарова В.Е.</b> Сравнение технических характеристик разных типов ветряных установок . . . . .	36
<b>Иванова К.М.</b> Сравнительный анализ методов Понсона – Меркеля и Мак-Кабе – Тиле к приложению к расчету ректификационных установок . . . . .	36
<b>Ильичева А.Д., Гусев А.Л.</b> Нестационарное горение заряда твердотопливного двигателя щеточного типа . . . . .	37
<b>Исламова С.И., Базукова Э.Р.</b> Обзор приборов для определения плотности теплового потока . . . . .	38
<b>Исламова А.М.</b> Бессточная система – вариант водосберегающей технологии системы водоснабжения промышленного предприятия . . . .	39
<b>Исмаилова Г.М.</b> Эффективность использования гидроаккумулирующей электростанции . . . . .	40
<b>Исянгильдина Л.Х., Демин Ю.К.</b> Исследование необходимости применения газотурбинной установки для достижения энергосберегающего эффекта в тепловых агрегатах . . . . .	41
<b>Калинина М.В.</b> Физические основы процессов преобразования солнечной энергии . . . . .	42
<b>Камаева Г.Р.</b> Утилизация тепла выхлопных газов газотурбинной установки . . . . .	43
<b>Коротин С.Ю.</b> Парогазовые теплоносители и их промышленное применение . . . . .	44
<b>Красавина Е.О.</b> Принцип теплового насоса как средство снижения энергоемкости промышленных процессов ректификации . . . . .	45
<b>Краснова Н.П.</b> Утилизация теплоты продуктов сгорания газопоршневых электростанций . . . . .	46
<b>Кулага А.О., Шевчук М.С.</b> Энергосбережение в системах отопления	47
<b>Макаров А.В.</b> Перспективы использования ветроэнергетики в условиях Крайнего Севера . . . . .	48

<b>Максимов И.В., Кулага А.О.</b> Проблема оценки тепловой энергоэффективности зданий . . . . .	49
<b>Малахов А.О.</b> Сравнительный анализ диагностических методов и приборов контроля трубопроводов тепловых сетей . . . . .	50
<b>Моисеев В.И.</b> Особенности утилизации снего-ледовой массы на теплоэлектроцентралях мегаполисов . . . . .	51
<b>Мыльников В.В.</b> Повышение эффективности систем охлаждения масла в газотурбинных установках в условиях Крайнего Севера . . . . .	52
<b>Назарычев С.А.</b> Методика обучения работы на автоматическом оборудовании системы отопления . . . . .	52
<b>Николаев А.В., Сафонова М.А.</b> Применение многофункционального энергетического комплекса в нефтяной промышленности . . . . .	53
<b>Окатов И.М., Щербаков М.С.</b> Особенности разработки инвестиционной программы схемы теплоснабжения муниципального образования . . . . .	54
<b>Ракитин А.С.</b> Разработка и испытание открытой системы криообеспечения трансформатора на основе высокотемпературных сверхпроводников . . . . .	55
<b>Ротач Р.Р.</b> Методы обработки воды на предприятиях . . . . .	56
<b>Рябинин Д.В.</b> Нестационарное движение жидкой пленки в дозвуковом ускоряющемся потоке газа . . . . .	57
<b>Салахова Э.З.</b> Анализ эффективности существующей системы теплоснабжения города Мамадыш . . . . .	58
<b>Сафронов А.С.</b> Определение требований к математической модели «динамического микроклимата» . . . . .	59
<b>Теляшов Д.А., Суховая Е.А., Ягофаров О.Х.</b> Разработка глушителя-нейтрализатора шума маломощных двигателей внутреннего сгорания . . . . .	60
<b>Теляшов Д.А., Суховая Е.А., Ягофаров О.Х.</b> Методы снижения шума камеры пульсирующего горения, используемой в составе двигателя внутреннего сгорания с внешним подводом тепла . . . . .	61
<b>Фаздалова А.И., Кашипова Л.А.</b> Методика выбора энергоэффективного варианта промышленной системы рекуперации вторичной энергии . . . . .	62
<b>Фазуллин Д.Р.</b> Расчет модального анализа экспериментальной установки . . . . .	63
<b>Хасанова Р.В., Демин Ю.К.</b> Моделирование процесса испарения капли охлаждающего теплоносителя в потоке сжатого газа . . . . .	64
<b>Хафизов Р.Г.</b> Применение двигателя Стирлинга в ближнем космосе и механизм аккумуляции энергии вращения . . . . .	65

<b>Хуснутдинова Э.М.</b> Гидравлический режим работы с учетом особенностей реологического поведения высоковязких нефтей . . . . .	66
<b>Шевчук М.С., Максимов И.В.</b> Проблема обеспечения энергоэффективности зданий . . . . .	67
<b>Шипеева А.С.</b> Инженерная гидрогеология. Бурение скважин . . . . .	68
<b>Ямалетдинов А.А.</b> Применение нанотехнологий в теплоэнергетике . . . . .	69
<b>Яхина Л.Т.</b> Жидкая теплоизоляция в теплоэнергетике . . . . .	70

### СЕКЦИЯ 3. ТЕПЛОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

<b>Аверин Н.И.</b> Исследование турбинных решеток паровых и газовых турбин . . . . .	71
<b>Али Язид С.С.</b> Электрические станции Республики Йемен, их характеристики . . . . .	72
<b>Ахметзянова Г.Л.</b> Влияние сернистых соединений на термическую стабильность трансформаторного масла . . . . .	73
<b>Ахонова Д.Г.</b> Исследование влияния метеорологических параметров на приземные концентрации, создаваемые дымовыми трубами Набережночелнинской ТЭЦ . . . . .	74
<b>Балакаев Р.Р.</b> Исследование методики выбора оптимальных параметров пара трехконтурных парогазовых установок . . . . .	75
<b>Будаева А.Ю.</b> Проблемы нормирования и контроля водно-химического режима котлов-утилизаторов парогазовых установок . . . . .	76
<b>Власова А.Ю., Мамлеева А.Р.</b> Исследование работы осветлителя ВТИ-63И установки регенерации извести по очистке минерализованных сточных вод химических цехов с использованием шлама химической водоочистки с другими реагентами на Нижнекамской ТЭЦ (ПТК-1) . . . . .	77
<b>Габдуллина А.Р.</b> Предотвращение кальциевого и магниевого накипеобразования в конденсаторах турбоустановок теплоэлектроцентрали . . . . .	78
<b>Гафуров А.М., Гафуров Н.М.</b> Повышение энергоэффективности тепловой электрической станции за счет утилизации тепловых отходов . . . . .	79
<b>Гильфанов Б.А., Разакова Р.И., Просвирнина Д.В.</b> Применение электродеионизации в энергетике . . . . .	80
<b>Зайнудинов К.Д.</b> Конструкционные материалы в теплоэнергетике, их структуры и основные свойства . . . . .	81
<b>Закиров А.О.</b> Совершенствование водоподготовительной установки тепловой электрической станции . . . . .	82

<b>Клешня В.И., Воронцова Е.С.</b> К вопросу организации ведения работ с топливом на энергетическом предприятии . . . . .	83
<b>Ключников Д.И.</b> Проблемы и перспективы повышения и оптимизации маневренности установок тепловых электрических станций . . . . .	84
<b>Лагин А.В.</b> Применение охладителя для пара, расходуемого на сушку влажного и высоковлажного угля . . . . .	85
<b>Магомедсайгитов Д.М.</b> Получение дополнительной мощности на тепловых электрических станциях, сжигающих газ от магистральных газопроводов . . . . .	86
<b>Малахов А.А.</b> Программа по расчету расхода пара на сетевые подогреватели и определения величины подпитки теплосети в режиме диалога с электронно-вычислительной машиной . . . . .	87
<b>Минибаев А.И.</b> Электромембранная утилизация отработанных регенерационных растворов водоподготовительной установки Казанской ТЭЦ-3 . . . . .	88
<b>Саитов С.Р.</b> Моделирование работы водоподготовительных установок тепловых электрических станций с обратноосмотическими модулями . . . . .	89
<b>Сафин Р.Ф.</b> Влияние качества исходного сырья на технико-экономические показатели атомных энергоблоков . . . . .	90
<b>Сбитнев А.А.</b> Исследование энергоустановок с глубоким охлаждением дымовых газов . . . . .	91
<b>Сёмушкин В.П.</b> Предварительное исследование возможности использования непроектного топлива . . . . .	93
<b>Сухов А.В., Водениктов А.Д.</b> Разработка устройств подготовки потока для трубопроводных систем . . . . .	94
<b>Теплов Б.Д.</b> Повышение мощности и эффективности парогазовых установок в условиях высоких температур наружного воздуха . . . . .	95
<b>Уранов А.А.</b> Построение процесса расширения пара в $h$ , $s$ - и $T$ , $s$ -диаграммах для главной и вспомогательных турбин тепловой электрической станции . . . . .	96
<b>Фарвазов И.И.</b> Исследования режимов работы конденсационной турбоустановки К-800-240 для повышения их экономичности и разработка программы в среде Mathcad . . . . .	97
<b>Халиулин Д.Р.</b> Снижение параметров конденсационно-вакуумной системы турбоустановки с использованием адсорбционной холодильной машины . . . . .	98

<b>Шлёнкин Р.Ю.</b> Разработка запорно-регулирующей шиберной задвижки .....	99
---	----

**СЕКЦИЯ 4. РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ,  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ И БЕЗОПАСНОСТЬ,  
НЕТРАДИЦИОННАЯ ЭНЕРГЕТИКА**

<b>Аминов Б.А.</b> Сравнительный анализ работы ЕС-двигателей .....	101
<b>Атанов Е.А.</b> Экономический расчет мусороперерабатывающего комплекса .....	102
<b>Афанасьев Е.П.</b> Реконструкция системы теплообеспечения блоков извлечения изопентана и пропана на Сургутском заводе по стабилизации конденсата .....	103
<b>Ахмедзянова В.Н., Кашапова Л.М.</b> Перспективные пульсационные технологии для интенсификации процессов фильтрации .....	104
<b>Байкова Д.А.</b> Применение наножидкостей при охлаждении кристаллизатора при валковой разливке стали .....	105
<b>Балабанова Я.Р.</b> Особенности применения солнечных коллекторов .	106
<b>Басова А.Е.</b> Численное исследование устройства магнито-жидкостного охлаждения .....	107
<b>Бочкарев Р.Ю., Зиганшин И.А.</b> Мероприятия по строительству теплотрассы-перемычки и перевод котельной в режим центрального теплового пункта с целью уменьшения расхода газа .....	108
<b>Бугаев А.Ю.</b> Ветроагрегат с управляемым ветропотокм мощностью 1 кВт .....	109
<b>Вараксин А.В.</b> Экспериментальное определение теплофизических свойств бытовых отходов .....	110
<b>Вассерман А.А.</b> Автономный мусороперерабатывающий комплекс ..	111
<b>Власова В.А.</b> Исследование процесса пиролиза твердых бытовых отходов в термическом реакторе .....	112
<b>Воротынцев Д.В., Карпов Н.Д., Муравицкий Я.Л.</b> Разработка системы электроснабжения морского автономного исследовательского бую	113
<b>Гайнуллин И.И.</b> Повышение энергоэффективности абсорбционного оборудования .....	115
<b>Галиуллина А.Э.</b> Теплогидравлическая эффективность кольцевых каналов .....	116
<b>Галишина И.А., Никонова А.О., Огурцов Д.В.</b> Восходящая колоночная хроматография в среде органических растворителей .....	117

<b>Галькеева А.А.</b> Экспериментальное исследование состава отдельных фракций золошлаковых отходов ТЭЦ . . . . .	117
<b>Галямов А.А.</b> Супергидрофобные покрытия для борьбы с обледенением линий электропередачи . . . . .	118
<b>Гасилин В.В.</b> Влияние разницы скоростей угольных частиц и газа на характеристики реагирующего потока . . . . .	119
<b>Гилязова Л.М.</b> Исследование пульсационных технологий для повышения нефтедобычи . . . . .	120
<b>Забродин Н.Г.</b> Исследование термохимической конверсии биомассы для получения топливно-энергетических ресурсов . . . . .	121
<b>Зарипова Г.М.</b> Переработка обезвоженного активного ила очистных сооружений в топливные гранулы . . . . .	122
<b>Зиатдинов Р.В.</b> Влияние геометрических характеристик контактных устройств на эффективность массопереноса и потерю напора . . . . .	123
<b>Зиннатуллин Р.Р., Драницина Е.А.</b> Исследование акустических характеристик турбины под влиянием шума пульсирующей струи . . . .	124
<b>Ибрагимова Л.Э.</b> Абсорбционный метод очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов . . . . .	125
<b>Исмаилова К.Ф.</b> Разработка технологии очистки питьевой воды от сопутствующих примесей . . . . .	126
<b>Казанков А.А.</b> Энергосберегающее мероприятие на установке получения элементарной серы АО «ТАНЕКО» . . . . .	127
<b>Казанков А.А.</b> Модульные энергетические установки на основе микротурбинных технологий для децентрализованного производства электрической энергии . . . . .	128
<b>Кашапова Л.М., Шакурова Л.М.</b> Использование тепла от осветительных приборов для снижения потерь на инфильтрацию . . . . .	128
<b>Коротаева Н.М.</b> Экспериментальное исследование гидравлического сопротивления слоя твердых бытовых отходов . . . . .	129
<b>Кулибина К.А.</b> Энергоэффективность индукционного нагрева . . .	130
<b>Кучкарова А.Р.</b> Исследование возможности применения реагента ОПЦ-600 в системе оборотного охлаждения ПГУ-230 МВт Казанской ТЭЦ-1 . . . . .	131
<b>Лапатеев Д.А., Румянцев Е.С.</b> Энергетический эффект от использования прерывистого режима отопления и предварительной осушки воздуха для систем отопления зданий с регулируемым сопротивлением теплопередаче . . . . .	132
<b>Левашов С.А.</b> Применение солнечной энергии в объектах жилищно-коммунального хозяйства . . . . .	133

<b>Местников Н.П.</b> Актуальность постройки малых гидроэлектростанций в условиях севера Якутии .....	134
<b>Мжельская О.Ю.</b> Применение газонаполненной плёнки при энергосбережении .....	135
<b>Миннеярова А.Р.</b> Очистка сточных вод промышленных предприятий от нефтепродуктов новым нефтяным сорбентом .....	136
<b>Мирзошарифзода Н.Д.Д.</b> О работе погодного регулятора в нестационарных условиях .....	137
<b>Муллагалин М.Р.</b> Применение тепловых насосов в жилищно-коммунальном секторе .....	138
<b>Муратова Т.В.</b> Математическое моделирование процесса сушки слоя органосодержащего сырья .....	139
<b>Мухамеджанов А.И., Халиуллин А.Ф.</b> Экспериментальное исследование параметров экстракционного процесса в петлевом экстракторе .....	140
<b>Низамов И.С., Гайнетдинов А.В.</b> Перспектива использования генераторного газа, полученного путем газификации водоугольного топлива при производстве энергии .....	141
<b>Николаев А.В.</b> Использование дымовых газов котельной установки для нагрева воды, подаваемой потребителю .....	142
<b>Никонова А.О., Галишина И.А., Огурцов Д.В.</b> Очистка сточных вод от приоритетных загрязнителей в АО «КВАРТ» .....	143
<b>Огурцов Д.В., Сабиров Л.Р.</b> Переработка золошлаковых отходов ТЭЦ .....	145
<b>Потехин А.Е., Акимова М.А.</b> Экспериментальное исследование влияния фильтрации на процесс нагрева насыпных садов в термических печах .....	146
<b>Сабиров Л.Р., Никонова А.О., Огурцов Д.В.</b> Разработка утилизации отходов Нижнекамской ТЭЦ .....	147
<b>Салимханов М.М.</b> Исследование растекания жидкости в газовом пространстве струйно-барботажного контактного устройства .....	147
<b>Салихов А.Ф.</b> Анализ показателей светильника при замене люминесцентных ламп на светодиодные .....	148
<b>Сандаков И.М.</b> Энергоэффективная технология получения теплоизоляционных материалов высокого качества .....	149
<b>Сафина А.Р.</b> Анализ, синтез и оптимизация энерготехнологических объектов .....	151
<b>Сафиуллин И.И.</b> Сокращение механизмов реакций для условий углеводородного самовоспламенения топлив .....	152

<b>Семенова О.Д.</b> Правильная балансировка – ключевой аспект построения эффективных систем тепло- и холодоснабжения . . . . .	153
<b>Скворцов И.А.</b> Моделирование тепло- и массообменных процессов в слое твердых бытовых отходов при их термической переработке в реакторе шахтного типа . . . . .	154
<b>Смирнов С.В., Веденькин Д.А.</b> Исследование воздействия сверхвысоких частот энергии на промысловые характеристики нефти . . . . .	155
<b>Стариков П.В.</b> Система управления микроклиматом помещений	156
<b>Столярова Е.Ю.</b> Биогаз – альтернативный источник энергии . . . .	157
<b>Сунгатуллин Р.Г., Тыгагин А.М.</b> Исследование теплоизоляционных свойств цементно-стружечных плит . . . . .	158
<b>Сунгатуллин А.Р.</b> Подготовка воды для теплосети с использованием ингибитора . . . . .	159
<b>Терентьев Ф.А.</b> Разработка двухэтапного многоимпульсного электро- и магнитополевого активизатора топливовоздушной горючей смеси двигателей внутреннего сгорания . . . . .	160
<b>Тимиргалеев Ш.Р.</b> Повышение ресурса тепловых энергетических машин . . . . .	161
<b>Тучибаев И.Р., Аловадинова Х.Н.</b> Использование теплоты жидкой стали в кристаллизаторе машин непрерывного литья заготовок . . . . .	162
<b>Файзрахманова А.Р.</b> Исследование влияния работы системы приточно-вытяжной вентиляции с рекуперацией тепла спортивного сооружения . . . . .	164
<b>Фарахов М.М.</b> Коэффициенты тепло- и массоотдачи в жидкой фазе при пленочном режиме в колоннах с новыми насадками . . . . .	165
<b>Федотов А.И.</b> Определение показателей эффективности технологических систем золошлакоудаления ТЭС, использующих композиционные суспензионные топлива . . . . .	166
<b>Фролова А.Л.</b> Исследование систем очистки сточных вод химического цеха ТЭЦ-3 . . . . .	167
<b>Хаертдинова А.Р.</b> Комбинированные энергетические установки на основе топливных элементов и газотурбинных установок . . . . .	168
<b>Хаертдинова А.Р.</b> Возможность применения газотурбинных двигателей при работе на альтернативных топливах из возобновляемых ресурсов для выработки электрической и тепловой энергии . . . . .	169
<b>Хайруллин И.А., Болотников С.С.</b> Теплотехнологическая регенерация теплоты горячего проката для генерации электроэнергии	170

<b>Хамидуллина М.С.</b> Радиационный теплообмен в солнечных энергетических установках . . . . .	170
<b>Хамидуллина М.С.</b> Гомогенная и гетерогенная коагуляции дисперсной фазы продуктов сгорания . . . . .	172
<b>Ханзяров Р.Р.</b> Регенерация трансформаторного масла с цеолитсодержащими породами . . . . .	173
<b>Хисамутдинов М.В.</b> Новые технологии и их аппаратные оформления для гидротранспорта дисперсий . . . . .	173
<b>Частикова О.И.</b> Перспективы использования термохимических методов регенерации теплоты . . . . .	174
<b>Черепанов О.В.</b> Экологическая реабилитация объектов накопленного экологического ущерба нефтесодержащими загрязнениями . . . . .	175
<b>Шайхутдинов И.З., Гилмутдинов И.И., Гилмутдинов И.М., Сабирзянов А.Н.</b> Энергоэффективный метод получения микро- и наночастиц фармацевтических субстанций на основе сверхкритических флюидных сред . . . . .	176
<b>Шакиров Р.Р.</b> Теплообмен пучка труб в пульсирующем потоке . . . . .	177
<b>Щеглева И.Л., Малинина Е.А.</b> Мероприятия по энергосбережению в жилых домах . . . . .	178

## СЕКЦИЯ 5. АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ

<b>Аликин Н.А.</b> Использование микрокомпьютера Raspberry Pi в качестве контроллера для управления «Умным домом» . . . . .	179
<b>Арсланов Б.Т., Ганиев А.Л.</b> Современные технологии в робототехнике. Нейронные сети . . . . .	180
<b>Бородина С.М., Софьина А.А.</b> Внедрение «умных» технологий в офисные помещения . . . . .	181
<b>Бурцев С.Ю., Коршикова А.А.</b> Выбор технологии участия парогазовой установки в регулировании частоты энергосистемы . . . . .	182
<b>Веремьев В.О.</b> Определение максимального значения гармонического процесса в SMLogix . . . . .	183
<b>Гайнуллина Э.Н., Ганиев А.Л., Гельметдинова А.З.</b> Разработка HMI-интерфейса автоматизированной лабораторной газотурбинной установки . . . . .	184
<b>Галифанова А.Х.</b> Компьютерные тренажеры и симуляторы как фактор повышения подготовки специалистов в энергетике . . . . .	185
<b>Данилова А.С., Кустова Г.В.</b> Исследование взаимодействия систем регулирования температуры конденсата на входе в котел-утилизатор . . . . .	186

<b>Дозморов П.Г., Шатских В.О.</b> Генетический подход к проблеме обучения нейро-нечетких систем управления . . . . .	187
<b>Замалиева Г.И.</b> Математическое моделирование комбинированной системы теплоснабжения здания малоэтажной застройки . . . . .	188
<b>Колесов В.С., Кузнецов Д.В.</b> Реализация матричных операций в задачах автоматического управления . . . . .	189
<b>Матюшкин Д.А.</b> Определение закона распределения погрешности вычислений с помощью энтропийных оценок . . . . .	190
<b>Рябых И.А., Каляков И.В., Шакиров М.М.</b> Применение дополненной реальности в дисциплине «Технические средства автоматизации»	191
<b>Сахаров А.И.</b> Прикладной проект в SCADA TECON системы регулирования температуры перегретого пара котла-утилизатора . . . . .	192
<b>Хуснутдинов А.Н.</b> Подготовка попутного нефтяного газа к сжиганию на объектах малой энергетики . . . . .	193
<b>Чернов В.А.</b> Разработка автоматизированной системы управления положением обратного маятника . . . . .	194
<b>Шамгунов И.И.</b> Разработка устройства для автоматизированного сбора измерительной информации . . . . .	195
<b>Шамсияров А.Н., Гатиятуллин Б.Р.</b> Разработка конструкторов по энергетике . . . . .	197

## СЕКЦИЯ 6. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ВОДНЫХ БИОРЕСУРСОВ И АКВАКУЛЬТУРЫ

<b>Абдуллин Р.Р.</b> Методы утилизации осадков сточных вод . . . . .	198
<b>Ал Хамадани А.Ш.</b> Использование садков для выращивания рыбы в рыбоводных хозяйствах Ирака и Республики Татарстан . . . . .	199
<b>Ал-Садун Р.А.</b> Растительные добавки к кормам для выращивания карпа . . . . .	200
<b>Аль-Бачри В.С.</b> Преимущества гипофизарного инъецирования при воспроизводстве рыб . . . . .	201
<b>Гречухина Л.Г.</b> Качественный состав фитопланктона Заинского водохранилища в разные сезоны года . . . . .	202
<b>Дементьев Д.С.</b> Анализ опыта в области форелеводства на примере Бисеровского рыбокомбината . . . . .	203
<b>Карусева А.Ю.</b> Оценка эффективности воспроизводства молоди рыб на участке Куйбышевского водохранилища в районе города Казани . . . . .	204

<b>Рябинский Н.А.</b> Дрейссена в составе макрозообентоса Нижнекамского водохранилища . . . . .	205
<b>Сорокина А.А.</b> Особенности скорости роста и воспроизводства <i>Daphnia magna</i> при культивировании на различных кормах . . . . .	206
<b>Удачин С.А.</b> Видовой состав ихтиофауны Волжско-Камского природного биосферного заповедника (Саралинский участок, Республика Татарстан) . . . . .	207
<b>Хамитова М.Ф., Ахмерова Л.Р.</b> Изменения видового разнообразия зоопланктона в районе сброса сточных вод оптико-механического завода на реке Казанке . . . . .	208
<b>Хамитова М.Ф., Гатауллина Р.З.</b> Типы питания у личинок хирономид в составе биоценоза реки Казанки выше города Казани . . . . .	209
<b>Хамитова М.Ф., Ислямова А.А.</b> Изменение видового разнообразия зообентоса и зоопланктона в районе сброса сточных вод Марийского целлюлозно-бумажного комбината . . . . .	210
<b>Хамитова М.Ф., Исмагилов Ф.А.</b> Изменение видового разнообразия зообентоса на участке реки Казанки выше города Казани . . . . .	211
<b>Хамитова М.Ф.</b> Об обнаружении вида-акклиматизанта рода <i>Cornigerius</i> в составе зоопланктона устьевой части реки Казанки . . . . .	212

*Научное издание*

МАТЕРИАЛЫ ДОКЛАДОВ  
XI МЕЖДУНАРОДНОЙ МОЛОДЕЖНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ  
«ТИНЧУРИНСКИЕ ЧТЕНИЯ»

23–25 марта 2016 г.

Казань

В трех томах

*Под общей редакцией  
ректора КГЭУ  
Э.Ю. Абдуллазянова*

Том 2

Редактор издательского отдела *М.С. Беркутова*  
Компьютерная верстка *Т.И. Лунченкова*

Подписано в печать 18.03.16.  
Формат 60 × 84/16. Гарнитура «Times». Вид печати РОМ.  
Усл. печ. л. 13,31. Уч.-изд. л. 14,77. Тираж 500 экз. Заказ № 4984

Редакционно-издательский отдел КГЭУ,  
420066, Казань, Красносельская, 51

