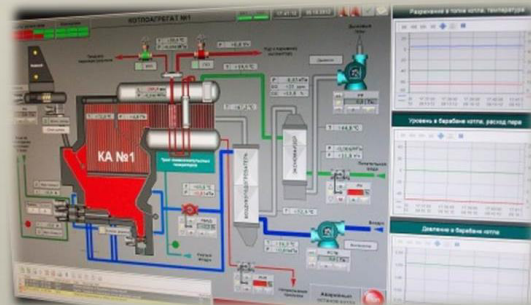
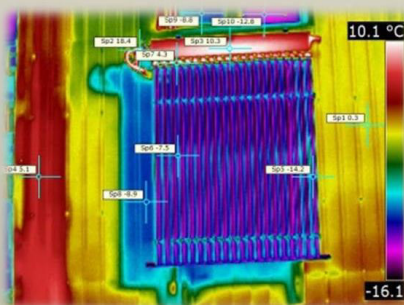




Министерство транспорта Российской Федерации
Федеральное агентство железнодорожного транспорта
ОАО «Российские железные дороги»
Омский государственный университет
путей сообщения

Материалы всероссийской научно-технической конференции с международным участием



ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГЕТИКИ И СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Омск 2017



Министерство транспорта Российской Федерации
Федеральное агентство железнодорожного транспорта
ОАО «Российские железные дороги»
Омский государственный университет путей сообщения

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГЕТИКИ И СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Материалы всероссийской
научно-технической конференции
с международным участием
(06 апреля 2017 г.)

Омск 2017

УДК 621.128:662.61.8+621.311.004.24
ББК 31.38

Повышение энергоэффективности объектов энергетики и систем теплоснабжения: Материалы всероссийской научно-технической конференции с международным участием / Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск, 2017. 348 с.

В сборник вошли статьи с результатами исследований, выполненных по комплексу научных направлений, посвященных вопросам развития объектов энергетики и систем теплоснабжения Уральского и Сибирского регионов, республики Крым. В работах рассмотрены и проанализированы основные направления энергосбережения в стационарной энергетике железнодорожного транспорта и промышленных предприятий.

Материалы сборника могут быть полезны научным сотрудникам, специалистам, работающим на предприятиях теплоэнергетического профиля, обучающимся теплоэнергетических специальностей.

Библиогр.: 241 назв. Табл. 53. Рис. 85.

Редакционная коллегия:

доктор техн. наук, профессор В. М. Лебедев (отв. редактор);

доктор техн. наук, профессор В. Р. Ведрученко;

канд. техн. наук, профессор В. К. Гаак;

старший преподаватель М. С. Шерстобитов.

Рецензенты: канд. техн. наук В. З. Дмитриев;

канд. техн. наук А. Г. Лукьянов;

доктор техн. наук, доцент А. М. Парамонов.

ISBN 978-5-949-41168-1

© Омский гос. университет
путей сообщения, 2017

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Сулима А. А.</i> Внедрение ресурсосберегающих технологий в западно-сибирской дирекции по тепловодоснабжению	7
<i>Финиченко А. Ю.</i> Прогнозирование расхода тепловой энергии на технологические операции предприятиями железнодорожного транспорта.....	13
<i>Черемисин В. Т., Комяков А. А.,</i> О роли дополнительного профессионального образования в подготовке специалистов в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности.....	18
<i>Синельников Д. С., Щинников П. А., Григорьева О. К.</i> Перспективные ПГУ с бинарностью меньше единицы, работающие по параллельной схеме	22
<i>Ибрагимов Е. С., Латыпов Р. З.</i> Повышение эффективности топливоиспользования источника теплоснабжения за счёт дополнения системы автоматического регулирования парового котла опцией автоматического поддержания оптимального избытка воздуха с контролируемым химическим недожогом.....	28
<i>Флек Е. С., Ведрученко В. Р.</i> Повышение эффективности топливоиспользования теплоэнергетических установок использованием дисперсных топливных систем.....	33
<i>Дмитриев В. З., Жуков Д. В.</i> Внедрение энергосберегающих мероприятий при проведении ремонта тепловых сетей АО «Омск РТС»...	39
<i>Чичерин С. В., Лебедев В. М., Глухов С. В.</i> Влияние диаметра трубопроводов тепловых сетей на их надежность.....	47
<i>Агильбаева М. Ж.</i> Повышение технико-экономической эффективности работы тепловых сетей от теплоисточника Карагандинской ТЭЦ-3.....	52
<i>Семенов А. Д.</i> Методы повышения надежности ППУ изоляции.....	57
<i>Гаак В. К., Кокшаров М. В.</i> Методы повышения эффективности выработки тепловой энергии в современных условиях.....	62
<i>Парамонов А. М., Резанов Е. М.</i> Повышение энергетической эффективности и экономичности работы нагревательных печей с радиационными трубами.....	69

<i>Резанов Е. М., Мотовилова О. А., Мотовилова Т. А.</i> К вопросу эффективного выбора резервной системы топливоснабжения промышленной котельной.....	74
<i>Бачкова В. С., Степанова Л. А.</i> Использование низкопотенциального тепла уходящих газов в водогрейных котельных....	79
<i>Стариков А. П., Рацин Е. А.</i> Поиск способов повышения эффективности тепловых электростанций путем их классификации.....	83
<i>Арсентьева С. А., Антонова Е. О.</i> Система теплоснабжения от ТТЭЦ-1 и ТТЭЦ-2 г. Тюмени.....	86
<i>Бельская Т. И.</i> Анализ состояния и повышение энергоэффективности систем централизованного теплоснабжения в г. Омске.....	92
<i>Филиппов А. Ю.</i> Обоснование возможности и необходимости установки генерирующих мощностей на ТЭЦ-2 с оценкой конкурентно-способных технологий.....	98
<i>Щебетова К. А.</i> К вопросу использование утилизации теплоты уходящих газов котлоагрегата нефтехимического производства.....	103
<i>Пиир А. Э.</i> Повышение тепловой эффективности жилых зданий в суровых климатических условиях.....	108
<i>Каргапольцев П. И.</i> Влияние температурного графика на экономику производителя тепла и экономику потребителя.....	116
<i>Чуриков Д. А., Стариков А. П.</i> Оценка эффективности коммунальных тепловых сетей.....	120
<i>Гусаров А. С., Овсянников В. В.</i> Зависимость термического КПД комбинированного цикла с отбором пара от начальных и конечных параметров рабочего тела.....	125
<i>Чаплак А. О.</i> Оптимизация водно-химического режима системы теплоснабжения.....	135
<i>Вивденко Ю. Н., Княжев И. Н., Лазовский С. В.</i> Совершенствование технологии балансировки роторов турбомашин.....	139
<i>Вивденко Ю. Н., Таминдаров А. Р.</i> Шероховатость поверхностей проточной части турбомашин как фактор потерь энергии потока.....	143
<i>Витвицкий А. А.</i> Снижение утечек в паре «ротор-статор» газовой турбины совершенствованием уплотнений.....	148

<i>Литвинов П. В., Брюхова А. С.</i> Выбор каталитического покрытия поршня с учётом спектрального анализа его материала.....	153
<i>Синельников Д. С., Щинников П. А., Францева А. А.</i> Методика определения расхода иницирующего топлива для технологии термоподготовки угля в циклонах малых размеров.....	160
<i>Помазова А. В., Заворин А. С.</i> Обоснование внедрения способа термической обработки, обеспечивающего повышение коррозионной стойкости труб поверхностей нагрева.....	166
<i>Фомиченко К. И., Кузнецов А. А., Помазова А. В.</i> Исследование размерных характеристик микроструктуры конструкционных материалов теплоэнергетики методами спектрального анализа.....	172
<i>Захарец А. В.</i> Решение задач применения в теплоэнергетике отработавших ресурс авиационных ГТД.....	178
<i>Трошина Н. С.</i> Использование процессов когенерации по схеме газодизельной электрической установки.....	182
<i>Константинович М. Ю.</i> Перспективы использования теплонасосных установок на ТЭЦ.....	189
<i>Могила О. В., Антонова Е. О.</i> Биоустановка в энергетике Республики Крым.....	193
<i>Шерстобитов М. С.</i> Использование твердых коммунальных отходов в качестве топлива для города Омска.....	199
<i>Щербинин К. Е.</i> Солнечный коллектор как решение проблемы энергообеспечения.....	204
<i>Гайдено А. Н., Алафьев М. К.</i> К вопросу о внедрении современных средств пожаротушения на объектах и транспорте РЖД.....	208
<i>Хороших О. В., Стариков А. П., Громов А. Н.</i> Особенности применения тепловых насосов в Западно-Сибирском регионе.....	213
<i>Писарев К. В.</i> Использование твердых коммунальных отходов для выработки тепловой и электрической энергии.....	220
<i>Жарикова Т. М., Антонова Е. О.</i> Определение зависимости электрической энергии ВЭУ от функции распределения скорости ветра и технической характеристики ветроустановки.....	224
<i>Крайнов В. В., Попова В. В., Бокова М. О.</i> Повышение эффективности отопительных систем жилого дома с помощью солнечного отопления.....	229

<i>Попов А. Н., Бакенова А. М.</i> Использование тепловых насосов в промышленности.....	233
<i>Вислогузов Р. А.</i> Влияние влажности торфа на автотермичность протекания низкотемпературного пиролиза.....	238
<i>Попова В. В.</i> Автономная газификация малых населенных пунктов.....	245
<i>Приходько С. В.</i> Биогаз: современные технологии обогащения, применяемые за рубежом.....	248
<i>Бакенова А. М., Попов А. Н.</i> Биогаз как источник энергии.....	255
<i>Глухов С. В., Глухова М. В.</i> О возможности использования котельной на возобновляемом топливе (бытовом мусоре) в системе централизованного теплоснабжения города Омска.....	260
<i>Козак О. А.</i> Повышение эффективности работы котлоагрегата при его переводе на газовое топливо.....	268
<i>Неупокоев П. Н.</i> Техничко-экономический аспект использования биотоплива.....	274
<i>Петров П. В., Резанов Е. М., Тесля М. О.</i> Повышение эффективности и экономичности утепление тепловой изоляцией наружных ограждающих конструкций стен зданий.....	277
<i>Латыпов Ф. Р., Бикбулатов А. М., Каримов Р. А.</i> Математическое моделирование процессов энергосбережения в отопительных системах многоэтажных жилых домов при автоматическом регулировании подачи теплоносителя.....	282
<i>АННОТАЦИИ</i>	289

А. А. Сулима

ВНЕДРЕНИЕ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ ДИРЕКЦИИ ПО ТЕПЛОВОДОСНАБЖЕНИЮ

В данной работе проведен полный отчет по энергосберегающим мероприятиям на объектах Дирекции тепловодоснабжения Западно-Сибирской железной дороги, дана оценка экономической эффективности внедренных мероприятий, сформированы перспективные направления в экономии топлива и электроэнергии.

Эффективное использование топливно-энергетических ресурсов является одной из важнейших задач, стоящих перед экономикой России. Федеральный закон «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» и Энергетическая стратегия России на период до 2030 г. определяют энергетическую эффективность экономики одним из главных стратегических ориентиров долгосрочной государственной энергетической политики.

Энергосбережение – это реализация правовых, организационных, научных, производственных, технических и экономических мер, направленных на эффективное (рациональное) использование и экономное расходование ТЭР и на вовлечение в хозяйственный оборот возобновляемых источников энергии.

Задачи государственной политики в области энергосбережения отражены в Энергетической стратегии России на период до 2030 г.

Согласно проекту Энергетической стратегии (ЭС-2030) перестройка структуры экономики и технологические меры экономии энергии уменьшат энергоёмкость ВВП в 2,1-2,3 раза к 2030 г. по отношению к уровню 2005 г. При этом до половины прогнозируемого роста ВВП может быть получено за счёт структурной перестройки экономики без увеличения затрат энергии, прирост ещё в 20 % даст технологическое энергосбережение, около трети прироста ВВП потребует увеличения расхода энергии.

Необходимо особо отметить, что одним из приоритетных направлений повышения конкурентоспособности отрасли на современном этапе является дальнейшее развитие потенциала ресурсосбережения железнодорожного транспорта. Данный потенциал складывается из совершенствования системы

менеджмента, на основе мотивации труда в направлении эффективного использования материальных, трудовых и финансовых ресурсов, экономически обоснованного применения ресурсосберегающих технологий и техники, а более всего – активного стимулирования инвестиционной и инновационной деятельности железных дорог.

Потенциал энергосбережения можно определить как количество энергетических ресурсов, которое может быть сокращено при выпуске одного и того же объёма и перечня товаров и услуг неизменного качества за счёт проведения самоокупаемых организационно-технологических мероприятий при заданных уровнях развития техники и цен на энергоносители.

В рамках реализации Энергетической стратегии была пересмотрена система управления планированием и потреблением топливно-энергетических ресурсов в компании. Опробование и тиражирование энергоэффективных технических решений осуществляется в рамках инвестиционного проекта «Внедрение ресурсосберегающих технологий на железнодорожном транспорте».

Дирекция осуществляет свою деятельность в границах Западно-Сибирской железной дороги и охватывает Омскую, Томскую, Новосибирскую, Кемеровскую области и Алтайский край.

В дирекции эксплуатируется 106 котельных, из них 15 подведомственных Ростехнадзору, 85,6 км тепловых сетей, 80 пунктов централизованного водоснабжения, 3 пункта заправки вагонов (на станциях Омск-Пассажирский, Новосибирск-Главный, Барнаул), 30 пунктов централизованного водоотведения, 284,5 км водопроводных сетей, 64 км сетей водоотведения.

Основной задачей дирекции является эффективное управление комплексом объектов стационарной теплоэнергетики, водоснабжения и водоотведения, в том числе оказание услуг по тепловодоснабжению и водоотведению объектов железных дорог ОАО «РЖД».

Для ее выполнения мы внедряем современные ресурсосберегающие технологии в системе теплоснабжения, устанавливаем автоматизированные центральные тепловые пункты, ведем замену морально и физически устаревшего оборудования котельных, заменяем горелочные устройства на новые экономичные системы сжигания топлива.

В рамках реализации инвестиционной программы «Внедрение ресурсосберегающих технологий на железнодорожном транспорте»:

– были построены и модернизированы автоматизированные центральные

тепловые на 11 котельных дирекции.

Внедрение автоматизированных тепловых пунктов дает значительный экономический эффект, а так же обеспечивает безаварийную подачу тепловой энергии и горячего водоснабжения, сокращение эксплуатационных расходов, за счет высокого КПД работы нового теплообменного оборудования улучшилось качество подаваемой тепловой энергии. За счет внедрения новых технологий и модернизации оборудования на котельных дирекции удалось повысить энергоэффективность производства, а так же позволило сократить расход удельного топлива на выработку 1 Гкал до 0,212 т.у.т.

– установлены новые системы подготовки и сжигания жидкого топлива (тяжелого мазута) на всех мазутных котельных дирекции. Применение этих устройств позволило сократить эксплуатационный расход топлива, практически до нуля снижены выбросы угарного газа.

– проведена реконструкция мазутной котельной ТЧ-5 ст. Инская с переводом на газообразное топливо.

Реализация этого проекта позволила существенно сократить эксплуатационные затраты.

– установлены 121 узел как коммерческого, так и технического учета топливно-энергетических ресурсов. Из них 22 узла учета ХВС, 5 узлов учета расхода котельно-печного топлива (мазут), 94 узла учета выработки тепловой энергии, пара.

За последние три года были внедрены ресурсосберегающие технические средства, наиболее значимые из которых:

– автоматизированная газовая блочно-модульная котельная суммарной установленной мощностью 4,55 Гкал/ч для обеспечения нужд депо ст. Черепаново (рис. 1). Годовой экономический эффект составил 9,680 млн.руб.

Отличительной особенностью работы блочно-модульной газовой котельной относится использование современного и высокотехнологичного котельного оборудования с полной автоматизацией технологического процесса выработки тепловой энергии. Автоматизация процесса позволяет наиболее оптимально использовать технологическое оборудование и повышает надежность его эксплуатации, следовательно, достигается экономия топлива, и снижаются эксплуатационные издержки.

Внедрение автоматизации процесса производства тепловой энергии позволил произвести значительное сокращение существующего персонала котельной.



Рис. 1. Газовая блочно-модульная котельная станция Черепаново

По инвестиционной программе ресурсосбережения 2016 года в дирекции внедряются:

– автоматизированная блочно-модульная газовая котельная ст. Входная (рис. 2). Годовой экономический эффект составит 9 млн. руб.



Рис. 2. Автоматизированная блочно-модульная котельная станция Входная

Котельная смонтирована взамен физически и морально устаревшей мазутной, не имеющей системы автоматизированного управления процессом теплоснабжения. Реализация данного проекта позволит повысить эффективность системы теплоснабжения за счет установки современного высокоэффективного оборудования, оснащённого средствами автоматизации

рабочего процесса, а также приборами учёта тепловой энергии. Система автоматики обеспечивает работу оборудования котельной по заданной программе, регулирование подачи теплоты в зависимости от температуры наружного воздуха. Отказ от использования пара в качестве теплоносителя позволит снять с котлов статус «поднадзорного» технического устройства и сократить потери тепловой энергии на собственные нужды котельной.

– эжекторные пароводяные теплообменники (ТЧ-15 ст. Новокузнецк-сортировочная, ВЧД ст. Белово, ТЧ-3 ст. Барабинск). Сокращение эксплуатационных расходов составит 4,6 млн. руб.



а



б

Рис. 3. Эжекторный пароводяной теплообменник:

а – котельная ТЧ станция Барабинск; б – котельная ВЧД станция Белово

Эжекторные пароводяные теплообменники являются смесительными теплообменниками, в них отсутствуют промежуточные теплообменные поверхности, и тепло передается фактически без потерь при непосредственном контакте пара и воды. Поэтому эти установки обладают более высокими коэффициентами теплопередачи и имеют меньшие размеры. Благодаря меньшим габаритам существенно уменьшаются потери тепла с наружных поверхностей подогревателей, и их тепловой КПД составляет не менее 99 %.

– техническое перевооружение системы перронного водоснабжения на ст. Омск-Пассажирский.

За счет применения современных технологий в конструкции водоразборного заправочного устройства позволит уменьшить потери питьевой воды, происходящие при заправке пассажирских поездов. Реализация проекта существенно сокращает количество повреждений трубопроводов и

оборудования, что позволяет добиться бесперебойного оказания услуг водоснабжения.

В перспективе на ближайшие два-три года дирекцией планируется:

– перевод на газовое топливо котельной ТЧ ст. Омск-Пасс. Проект относится к проектам обновления и модернизации инфраструктуры. Реализация проекта позволит уменьшить финансовые расходы на топливо в 3,5 раза, что существенно сократит эксплуатационные затраты. Реализация проекта позволит добиться повышения эффективности работы котельной, уменьшения затрат на текущий ремонт и капитальный ремонт, добиться повышения эффективности работы котельной, уменьшения затрат на текущий ремонт и капитальный ремонт.

Одним из немало важных плюсов реализации этого проекта является то, что существенно снижаются выбросы в окружающую среду г. Омска.

– строительство автоматизированной модульной котельной на твёрдом топливе ст. Рубцовск, установленной мощностью 6 Гкал/час на нужды отопления, ГВС. Ожидаемый годовой экономический эффект на сумму 16,6 млн. руб.

Ежегодная апробация и внедрение новых инновационных проектов, отслеживание технического, экономического и экологического эффектов внедренных энергосберегающих мероприятий, распространение наиболее эффективных и хорошо зарекомендовавших себя технологий по всем объектам дирекции позволяют Западно-Сибирской дирекции по тепловодоснабжению постоянно наращивать потенциал энергосбережения, улучшать условия работы обслуживающего персонала, эффективно управлять объектами стационарной теплоэнергетики.

Список литературы

1. «Об энергетической стратегии ОАО «РЖД» на период до 2010 года и на перспективу до 2030 года» Дата официального опубликования: 30.03.2011 г.

2. Стратегия инновационного развития ОАО «Российские железные дороги» на период до 2015 года (Белая книга ОАО «РЖД») от 30.03.2011 г.

3. Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

А. Ю. Финиченко

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАСХОДА ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОПЕРАЦИИ ПРЕДПРИЯТИЯМИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Статья содержит системы расчетов удельных норм энергопотребления в структурных подразделениях железнодорожного транспорта, программ энергосбережения, снижения трудоёмкости расчёта удельных норм потребления тепловой энергии на технологические операции предлагается прогнозировать потребность в тепловой энергии на технологические операции, с целью выявления значимых характеристик деятельности предприятий (факторных признаков) и планирование на их основе потребления тепловой энергии на будущие периоды.

Существующие и основные методы планирования теплопотребления, применяющиеся в настоящее время на железнодорожном транспорте:

статистический – расчёт величины нормы расхода тепловой энергии производится на основе статистических данных о фактическом потреблении теплоэнергии;

расчётный – расчёт нормы расхода тепловой энергии производится по данным о режимах работы оборудования.

Недостатки существующих подходов: отсутствие возможности управления удельными нормами путём разработки и реализации программ энергосберегающих мероприятий; недостаточная точность прогнозирования энергопотребления.

В структурных подразделениях железнодорожного транспорта существуют такие виды ремонтов, в которых происходит несколько технологических операций с потреблением тепловой энергии. Например, локомотивные депо (ТР, КР и др.), промывочно-пропарочные станции (промывка, пропарка цистерн). Для того чтобы произвести оценку влияния производственной программы и климатических условий местности на объем теплопотреблении структурными подразделениями ж.-д. транспорта, предлагается использовать метод корреляционно-регрессионного анализа, для выявления наиболее значимых факторов влияющих на потребление тепловой энергии.

На рис. 1 предложена блок-схема системы планирования удельных расходов тепловой энергии и мероприятий энергосбережения.

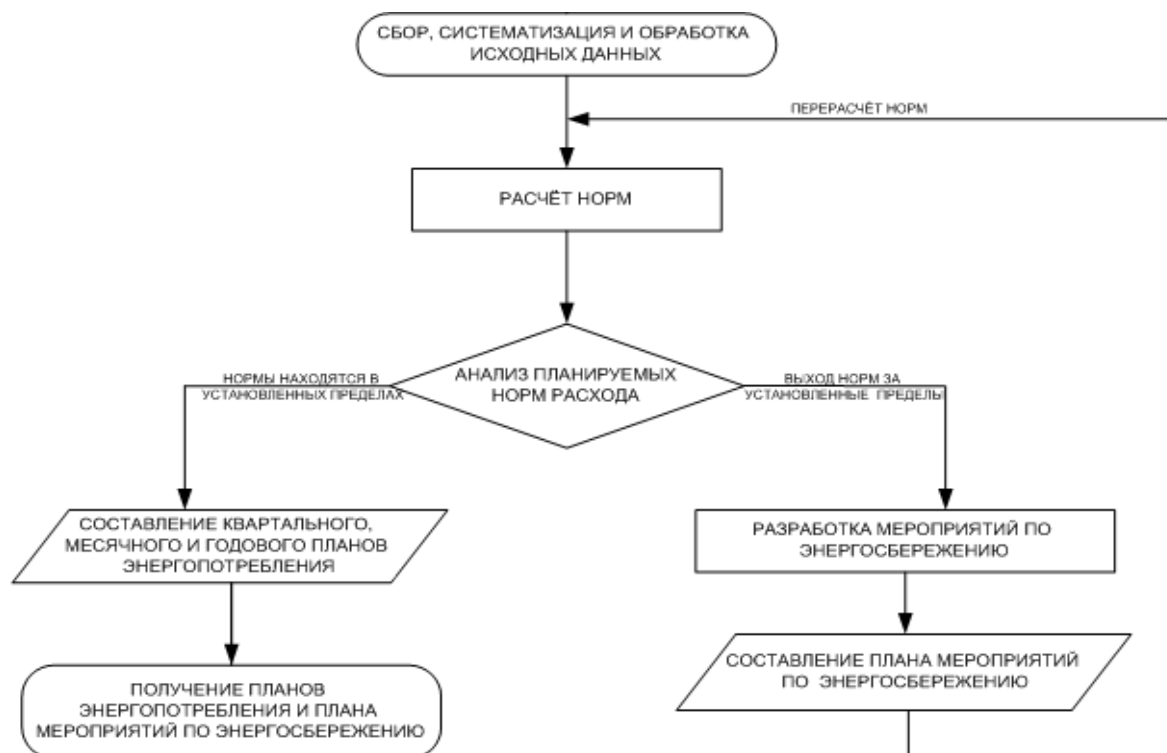


Рис. 1. Блок-схема планирования удельных расходов тепловой энергии

Существующие методы планирования расхода тепловой энергии на промышленных предприятиях получили развитие преимущественно на основе моделей планирования нагрузки и теплопотребления в теплоэнергетических системах; в то же время имеется ряд существенных отличий, обусловленных спецификой деятельности предприятий. В связи с этим представляется целесообразным обособленное рассмотрение существующих методов и моделей планирования теплопотребления на промышленных предприятиях, а также на железнодорожном транспорте.

Рассмотрим несколько основных методов и моделей, используемых в настоящее время при планировании нагрузок в теплоэнергетических системах:

метод экстраполяции – статистический метод, использующий для прогноза выделение и описание тренда;

корреляционно-регрессионная модель – статистическая модель, осуществляющая прогноз на основе математического описания существующих между переменными зависимостей;

нейросетевая модель – нелинейная модель, прогнозирование с помощью

которой сводится к получению модели зависимости потребления тепловой энергии от внешних факторов, а также ретроспективных данных.

Для прогнозирования энергопотребления было решено использовать корреляционно-регрессионный анализ в связи со следующими аспектами:

точность прогноза значительно превышает точность прогноза других моделей;

прогнозирование на базе нейросетевой модели и метода экстраполяции является сложной и трудоёмкой задачей;

метод основан на учете корреляционных (статистических) взаимосвязей между нагрузками отдельных узлов, обусловленных наличием ряда факторов: суточная периодичность, ритм социальной деятельности, метеофакторы и др.

В последние годы с развитием теории искусственного интеллекта широкое распространение как в отечественной, так и зарубежной практике получили методы планирования расхода электрической энергии с использованием моделей на основе искусственных нейронных сетей (ИНС) [1 – 3]. Первые работы по их применению появились в конце 80-х - начале 90-х гг. XX в. В большинстве публикаций по планированию электропотребления используется конфигурация ИНС прямого распространения с обучением по методу обратного распространения ошибки. Примерная структура ИНС представлена на рис. 2.

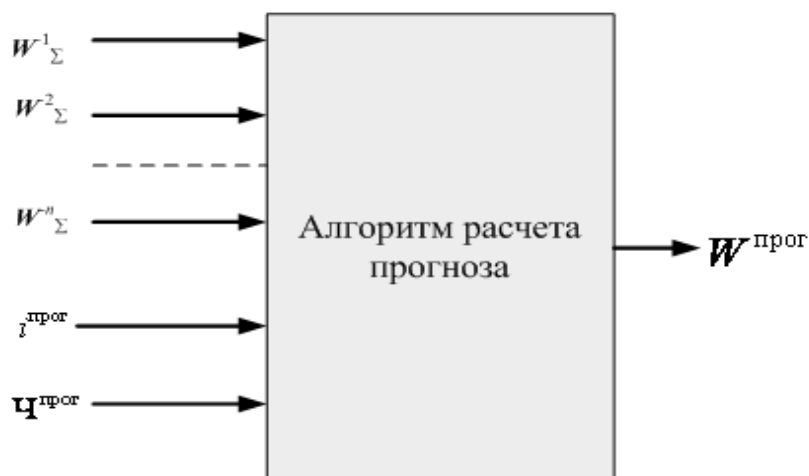


Рис. 2. Структура искусственной нейронной сети

Функционирование многослойной ИНС прямого распространения достаточно простое. Входные сигналы, подаваемые на сеть, поступают на нейроны входного слоя, проходят по очереди через все скрытые слои и выделяются с нейронов выходного слоя. По мере распространения сигналов по сети они претерпевают ряд преобразований, которые зависят от их начального значения,

от преобразующей функции и величин весов связей. Определение структуры ИНС (структуры реализуемой ею функции) сводится к выбору подходящей модели нейрона, достаточного числа нейронов в скрытом слое, входных и выходных параметров и формы их представления на основании результатов экспериментальных расчетов. Здесь необходимо заметить, что при выборе структуры ИНС важно учитывать ее размерность, т.е. число скрытых слоев и число нейронов в этих слоях.

При недостаточном размере сети для решения поставленной задачи ИНС будет плохо обучаться и неправильно работать, а при размере сети, превышающем сложность решаемой задачи, процесс обучения ИНС будет очень длительным или сеть вообще может быть непригодна для решения данной задачи. Этот вопрос в каждом конкретном случае решается экспериментальным путем.

Для определения входных переменных нейронной сети при решении задач прогнозирования нагрузки в работе [4] предлагается воспользоваться моделью, описывающей изменения во времени фактических значений нагрузки, которая в общем виде представляется нелинейной функцией:

$$P_t = f(P_{t-n}, T_{t-n}, \varepsilon_t), \quad (1)$$

где P_t – фактическая нагрузка системы в момент времени t ; t – текущее время; P_{t-n} – предшествующие наблюдения нагрузки; T_{t-n} – предшествующие наблюдения внешних факторов, влияющих на нагрузку; n – индекс ретроспективы данных; ε_t – случайная составляющая, представляющая ненаблюдаемые эффекты, влияющие на нагрузку.

Можно отметить, что использование методов искусственного интеллекта, основанных на моделировании ИНС, является перспективным направлением развития систем планирования нагрузки и теплопотребления.

В качестве результативного признака принимается суммарный расход тепловой энергии (пара) на технологию, отопление и вентиляцию по структурному подразделению.

В качестве факторных признаков принимались объемы выпуска продукции соответствующими подразделениями, такие как объем ремонта колесных пар, вагонов, объем подготовки цистерн под пропарку, объемы технического обслуживания электровозов и тепловозов и т.д. В некоторых случаях в качестве одного из факторных признаков принималась температура наружного воздуха, т.к. ее изменение существенно влияло на объем

потребляемого тепла.

Данные о фактической температуре наружного воздуха в г. Омске были получены с сайта [5].

Корреляционно-регрессионный анализ данных промывочно-пропарочной станции Комбинатская.

График и таблица зависимости объема потребляемого пара от факторных признаков полученной регрессионной модели представлены на рис. 3.

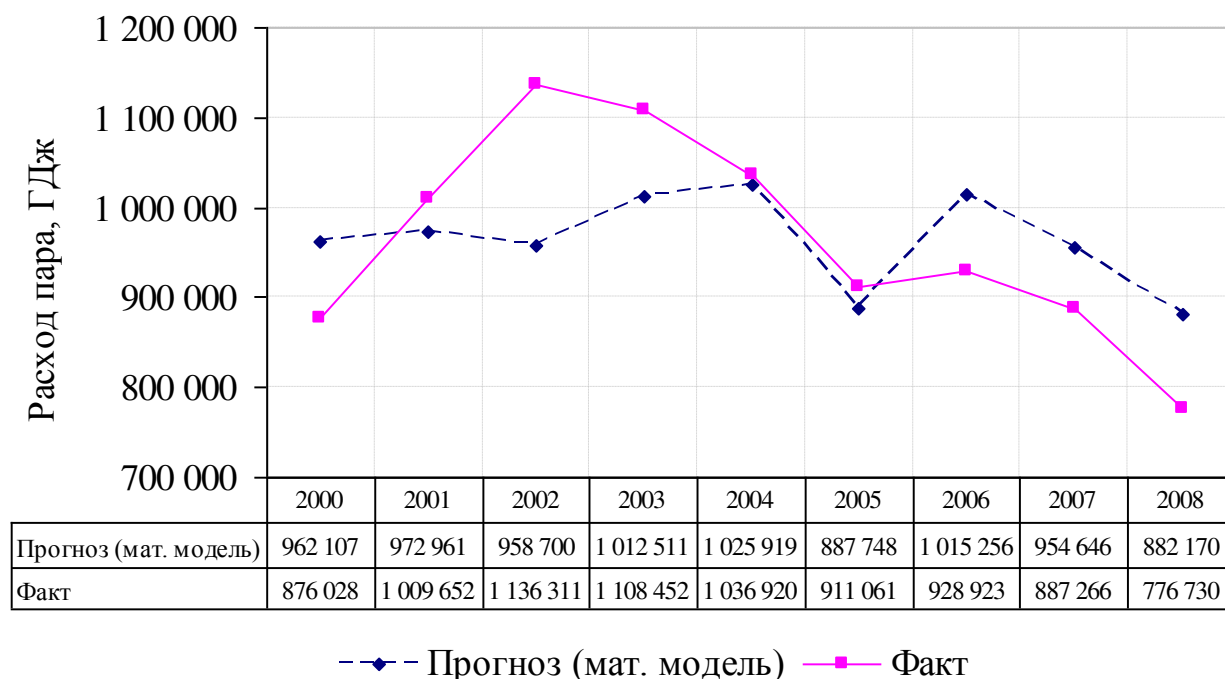


Рис. 3. Сравнение данных полученных по математической модели с фактическими значениями объемов потребления пара за рассматриваемый период

Значимость рассчитанной математической модели, была проверена с помощью F -критерия (критерий Фишера), с достоверностью 95%. Расчетное значение F -критерия оказалось равным 123,73, а табличное – 2,46 ($\nu_1=4$; $\nu_2=103$), следовательно, представленная математическая модель является статистически значимой и может использоваться для целей прогнозирования.

Список литературы

1. Мунхжаргал, С. Разработка и исследование нейросетевых алгоритмов краткосрочного прогнозирования нагрузки центральной электроэнергетической системы Монголии [Текст]: Дис... канд. техн. наук. – Новосибирск, 2004. – 177 с.

2. Шевченко, В. В. Нейросетевое моделирование режимов систем электроснабжения промышленных предприятий. Дис... канд. техн. наук. – Красноярск, 2006. – 123 с.

3. Гордиенко, Е. К. Искусственные нейронные сети. Основные определения и модели / Е. К. Гордиенко, А. А. Лукьяница // Техническая кибернетика. 1994. № 5.

4. Шумилова, Г. П. Краткосрочное прогнозирование электрических нагрузок с использованием искусственных нейронных сетей / Г. П. Шумилова, Н. Э. Готман, Т. Б. Старцева // Электричество. 1999. № 10.

5. www.gismeteo.ru – сайт с базой данных о погоде в регионах России и мира.

УДК 378.046.4

В. Т. Черемисин, А. А. Комяков

О РОЛИ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ В ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Статья посвящена вопросу подготовки специалистов в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности в рамках концепции непрерывного образования.

В настоящее время человеческий капитал остается важнейшим фактором развития мировой экономики. При этом исследования показывают, что определяющим фактором роста человеческого капитала является образование [1]. Однако в последние годы наблюдается тенденция «морального старения» знаний, связанная с ускорением научно-технического прогресса, резким сокращением сроков разработки и внедрения инновационных систем и технологий, постоянно изменяющейся нормативной базой в различных сферах деятельности. Установлено, что после окончания вуза ежегодно теряется до 20 % знаний. Периоды устаревания знаний различают по отраслям: в металлургии – 3,5 года, в машиностроении – 5,2 года, химической промышленности – 4,8 года и т.д. [2]. Безусловно, данная тенденция имеет место и в энергетической отрасли.

В этой связи система образования должна быть максимально мобильной, предусматривающей подготовку и переподготовку специалистов в соответствии с постоянно расширяющейся сферой научных знаний. А. А. Татарниковой [3] предложена функциональная модель непрерывного образования (рис. 1), в которой важная роль отведена дополнительному профессиональному образованию (повышение квалификации, переподготовка, семинары, в том числе с применением дистанционных образовательных технологий).



Рис. 1. Модель непрерывного профессионального образования

В настоящее время одним из наиболее актуальных вопросов энергетической отрасли является энергосбережение и повышение энергоэффективности. Деятельность по энергосбережению, разработке и реализации программ повышения энергоэффективности требует определенной квалификации исполнителей. Однако действующими федеральными государственными образовательными стандартами высшего образования не предусмотрена подготовка бакалавров (специалистов) по указанному

направлению. В профессиональных стандартах, которые разрабатываются в соответствии с Федеральным законом от 02.05.2015 № 122-ФЗ, профессии «Специалист по энергосбережению и повышению энергоэффективности» также не предусмотрено.

Поэтому в настоящее время подготовка специалистов в области энергосбережения для энергетической отрасли ведется главным образом по направлениям бакалавриата и магистратуры 130000 «Электро- и теплоэнергетика». В то же время при составлении учебных планов по указанным программам, на наш взгляд, недостаточное внимание уделяется вопросам энергосбережения и повышения энергетической эффективности.

В связи с этим наиболее перспективным решением является активное использование различных форм дополнительного профессионального образования в указанной сфере. Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС) является одним из ведущих вузов России, осуществляющих подготовку специалистов в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности [4].

В составе университета функционирует научно-исследовательский институт энергосбережения на железнодорожном транспорте, научно-производственные лаборатории «Энергосберегающие технологии и электромагнитная совместимость», «Энергосбережение и энергоэффективность на железнодорожном транспорте» и «Стационарная теплоэнергетика на железнодорожном транспорте». Высокая квалификация научного и профессорско-преподавательского состава и уровень научно-исследовательских работ подтвержден значимым достижением: в 2016 году коллектив университета стал лауреатом премии ОАО «РЖД» за научные исследования в области энергосбережения. С целью подготовки специалистов по энергосбережению создан учебно-методический центр по энергосбережению и повышению энергетической эффективности при институте повышения квалификации и переподготовки, основными направлениями деятельности которого являются:

разработка и реализация образовательных программ дополнительного профессионального образования и профессиональной переподготовки специалистов;

участие в организации и проведении конференций, семинаров, просветительской деятельности, образовательных и культурных проектах;

распространение знаний в сфере энергосбережения и повышения энергетической эффективности, их популяризация среди населения.

Подготовка ведется более чем по 20 программам повышения квалификации, в том числе проведение энергетических обследований с целью повышения энергетической эффективности и энергосбережения, энергетические обследования и паспортизация предприятий с разработкой программ энергосбережения и повышения энергетической эффективности на железнодорожном транспорте, энергосбережение и повышение энергетической эффективности в жилищно-коммунальном комплексе, системы теплоснабжения и учета энергоресурсов в коммунальном комплексе и др. В 2017 году проведена актуализация основных программ дополнительного профессионального образования, планируется открытие курсов переподготовки и заочной магистратуры по направленности «Промышленная теплоэнергетика». Активно внедряются дистанционные образовательные технологии, что позволяет определять гибкие сроки и стоимость обучения.

Особую актуальность имеет вопрос подготовки специалистов в области энергосбережения в связи с планируемым в 2017 году проведением энергетического обследования ОАО «РЖД» и других крупных предприятий. В последние годы существенно изменилась нормативная база в части требований к организациям, подлежащим обязательному энергетическому обследованию, составу и структуре энергетического паспорта и отчета о проведении энергетического обследования [5]. Кроме того, в отдельных организациях внедряются автоматизированные системы для проведения энергоаудита, например, АИС ЭЭП в ОАО «РЖД», работа с которыми требует определенной квалификации исполнителей.

Таким образом, дополнительное профессиональное образование имеет серьезный потенциал в качестве одной из базовых основ подготовки специалистов в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности и реализации современной концепции непрерывного образования.

Список литературы

1. Denison, E. Accounting for Slower Economic Growth: The United States in the 1970s / E. Denison. Brookings Institution Press, 1979. 212 p.

2. Баева, О. Н. Непрерывное образование как условие формирования человеческого капитала / О. Н. Баева. Дисс...канд. экон. наук. – Иркутск, 1998. – 212 с.

3. Татарникова, А. А. Дополнительное профессиональное образование как составная часть непрерывного профессионального образования // Вестник Томского гос. ун-та. 2007. № 299. С. 144 – 149.

4. Черемисин, В. Т. Вклад в реализацию программы энергосбережения в ОАО «РЖД» // В. Т. Черемисин, М. М. Никифоров / Железнодорожный транспорт. 2015. № 11. С. 66 – 68.

5. Каштанов, А. Л. Особенности проведения повторного энергетического обследования объектов ОАО «Российские железные дороги» / А. Л. Каштанов, А. А. Комяков, М. М. Никифоров // Повышение энергетической эффективности наземных транспортных систем: Материалы второй международной научно-практической конференции / Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск, 2016. С. 165 – 171.

УДК 621.311

Д. С. Синельников, П. А. Щинников, О. К. Григорьева

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ПГУ С БИНАРНОСТЬЮ МЕНЬШЕ ЕДИНИЦЫ, РАБОТАЮЩИЕ ПО ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ СХЕМЕ

В статье¹ предлагаются схемы конденсационных и теплофикационных ПГУ с коэффициентом бинарности меньше единицы, работающие по параллельной схеме. Для теплофикационных ПГУ введен теплофикационный показатель, характеризующий отпуск теплоты установкой. Показаны особенности применения таких технологий.

Повышение эффективности топливоиспользования в энергетических установках – актуальная задача. Одним из путей повышения эффективности в области генерации энергии является применение ПГУ с коэффициентом бинарности меньше единицы, что позволяет использовать в парогазовом цикле уголь с наиболее высоким КПД. В этом случае уголь сжигают для генерации

¹ Статья подготовлена в инициативном порядке по заявке на грант РНФ 2017 года, № 17-19-01018, тема "Оптимизационные исследования энергоблоков ТЭС и комбинированных систем теплоснабжения"

пара высоких параметров, а сжигание газа применяют для нагрева воздуха в газотурбинной установке [1-6].

Собственно коэффициент бинарности определяют как:

$$\gamma = \frac{Q_{\text{под}}^{\text{ГТУ}}}{Q_{\text{под}}^{\text{ГТУ}} + Q_{\text{под}}^{\text{ПГУ}}}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{под}}^{\text{ГТУ}}, Q_{\text{под}}^{\text{ПГУ}}$ – подводимая к парогазовой установке (ПГУ) энергия в камеру сгорания газовой турбины и в паровой котел соответственно, МВт.

Этот показатель (γ) характеризует то количество энергии, которое подведено к установке через газотурбинную ее часть по отношению к полной подведенной энергии.

В паровом котле при генерации пара высоких параметров может использоваться любой вид топлива, в том числе и уголь, в отличие от камеры сгорания газовой турбины, где необходим газ. В этом случае уголь вовлекается в технологию комбинированного цикла с эффективностью использования недостижимой в других технологиях генерации энергии, характерных для данного вида топлива.

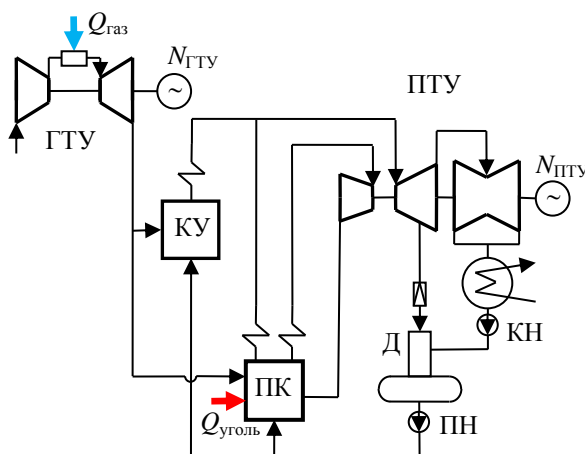


Рис. 1. Тепловая схема конденсационной ПГУ с дожиганием топлива

Технологическая схема, реализующая представленный подход выглядит следующим образом, рис. 1. Воздух поступает в компрессор газотурбинной установки (ГТУ) сжимается и поступает с высоким давлением в камеру сгорания газовой турбины, где за счет сжигания газообразного топлива обеспечивается повышение его температуры. Затем горячий воздух и продукты сгорания топлива поступают в газовую турбину, где совершают работу с выработкой электроэнергии ($N_{\text{ГТУ}}$). Отработавший в газовой турбине поток направляют в котел-утилизатор (КУ) и частично паровой котел (К), в которых обеспечивают генерацию пара высоких параметров для работы в

паротурбинной установке (ПТУ) с выработкой электроэнергии ($N_{ПТУ}$). При этом высокие параметры острого пара обеспечивают за счет сжигания топлива (в частности, угля), в паровом котле (ПК), а в котле-утилизаторе обеспечивают дополнительный по отношению к острому пару поток, который совмещают с паром промежуточного перегрева и направляют в среднюю часть паротурбинной установки (ПТУ). Таким образом, паровая турбина имеет проточную часть, в которой по мере расширения пара его расход увеличивается даже при наличии нерегулируемых отборов (на рис.1 не показаны). Отработавший в паровой турбине пар поступает в конденсатор (К), где обеспечивается процесс конденсации и затем конденсатным насосом (КН), а далее питательным (ПН) подается в котлы энергетический паровой (ПК) и утилизатор (КУ). Система регенерации на тепловой схеме представлена деаэратором (Д).

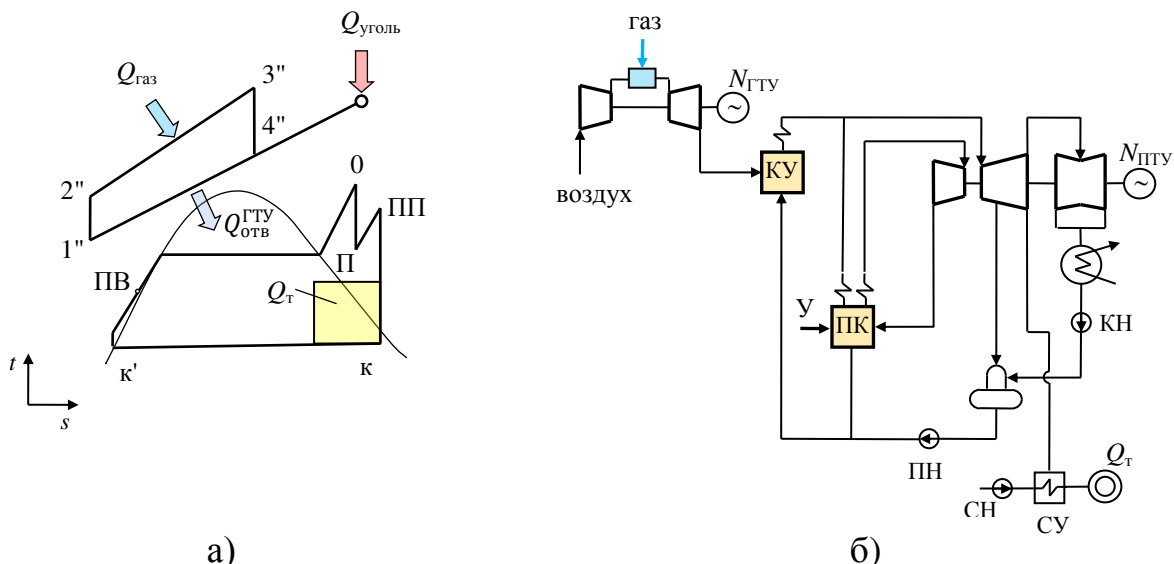


Рис. 2. Термодинамическая диаграмма (а) и тепловая схема (б) теплофикационной парогазовой установки с дожиганием угля (У) и коэффициентом бинарности меньше единицы

Комбинированный теплофикационный цикл ПГУ с бинарностью меньше единицы осуществляют подобным образом, рис. 2. Отличительной особенностью паровой турбины является теплофикационный отбор, пар из которого направляют в сетевую установку (СУ) для обеспечения отпуска теплоты Q_T потребителю.

С учетом того, что паровой котел и котел-утилизатор работают параллельно, представленные схемы ПГУ принято называть «схемами параллельного типа».

Полезная энергия, полученная в конденсационной установке, в целом определяется выражением

$$\begin{aligned} N_{\text{ПГУ}} &= N_{\text{ГТУ}} + N_{\text{ПТУ}} = \eta_{\text{ГТУ}} Q_{\text{под}}^{\text{ГТУ}} + \eta_{\text{ПТУ}} Q_{\text{под}}^{\text{ПТУ}} - \eta_{\text{ГТУ}} \eta_{\text{ПТУ}} Q_{\text{под}}^{\text{ГТУ}} + \eta_{\text{ПТУ}} Q_{\text{под}}^{\text{ПТУ}} = \\ &= \eta_{\text{ГТУ}} Q_{\text{под}}^{\text{ГТУ}} + \eta_{\text{ПТУ}} (Q_{\text{под}}^{\text{ГТУ}} + Q_{\text{под}}^{\text{ПТУ}}) - \eta_{\text{ПТУ}} \eta_{\text{ГТУ}} Q_{\text{под}}^{\text{ГТУ}} = \\ &= \eta_{\text{ГТУ}} (1 - \eta_{\text{ПТУ}}) Q_{\text{под}}^{\text{ГТУ}} + \eta_{\text{ПТУ}} Q_{\text{под}}^{\text{ПТУ}}. \end{aligned} \quad (2)$$

КПД ПГУ можно определить по выражению

$$\eta_{\text{ПГУ}} = \eta_{\text{ГТУ}} (1 - \eta_{\text{ПТУ}}) \gamma + \eta_{\text{ПТУ}}, \quad (3)$$

где γ – коэффициент бинарности установки.

С использованием выражения (3) построена зависимость $\eta_{\text{ПТУ}} = f(\eta_{\text{ГТУ}})$ для значений КПД ПГУ ($\eta_{\text{ПГУ}}$) принятых равными 40, 60 и 80-ти % и при изменяющемся коэффициенте бинарности, рис.3. Показатель бинарности равный единице ($\gamma=1$) означает, что тепловой поток, подведенный к паровому котлу отсутствует ($Q_{\text{под}}^{\text{ПТУ}}=0$). То есть установка имеет выраженный сбросной тип без дожигания (такие установки принято называть бинарными ПГУ или ПГУ бинарного типа). При $\gamma=0$ ПГУ вырождается в традиционный паротурбинный энергоблок.

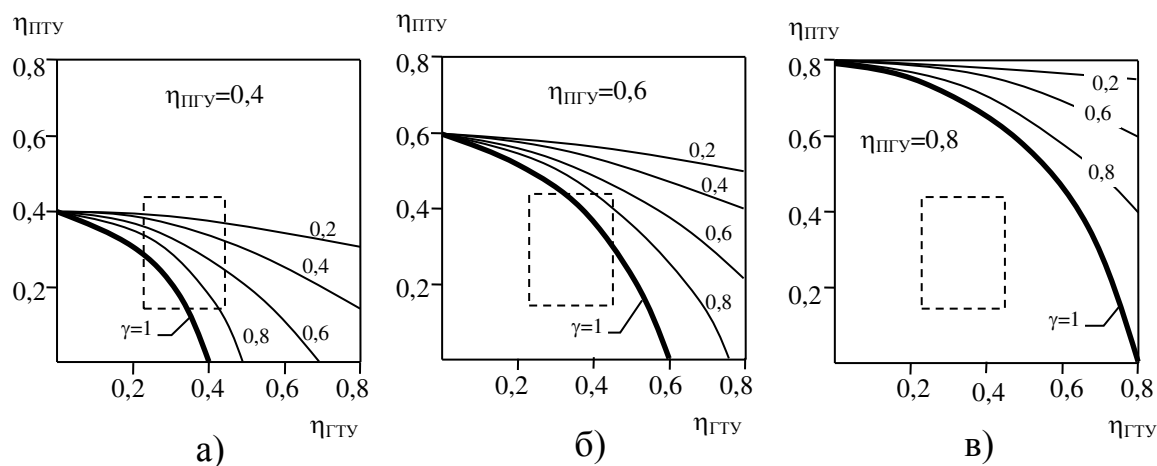


Рис. 3. Взаимозависимость КПД газотурбинной и паротурбинной частей парогазовой установки для КПД ПГУ ($\eta_{\text{ПГУ}}$)

Можно видеть (рис. 3б) что, например при $\eta_{\text{ГТУ}} \approx 44\%$ достижимо обеспечить КПД ПГУ ($\eta_{\text{ПГУ}}$) на уровне 60% при $\eta_{\text{ПТУ}} \approx 28\%$ и при $\gamma = 1$ (то есть для установок без дожигания топлива). В то же время при условии дожигания топлива в паровом котле обеспечивающего подвод теплоты на уровне 20% от общего подвода теплоты к установке ($\gamma=0,8$) можно повысить $\eta_{\text{ПТУ}}$ до $\sim 40\%$, при сохранении $\eta_{\text{ПГУ}}=60\%$. Важно отметить, что топливом, сжигаемым в паровом котле может быть уголь, что обеспечит удешевление (за

счет разницы стоимости между углем и газом) конечной продукции в виде электроэнергии. Очевидно, что достичь указанный эффект возможно только при наличии технически достижимого решения, проще говоря – технологии. Затененной зоной на рисунке показана область достижимых (на современном этапе развития) технических решений, при этом левая часть (рис. 2а) характеризует зону модернизационного потенциала действующих энергетических установок, не имеющих высоких энергетических и термодинамических показателей эффективности. Центральная часть (рис. 3б) характеризует зону передовых современных установок, а правая часть (рис. 3в) характеризует недостижимые ($\eta_{ПГУ} \sim 80\%$) сегодня показатели эффективности генерирующих энергетических установок.

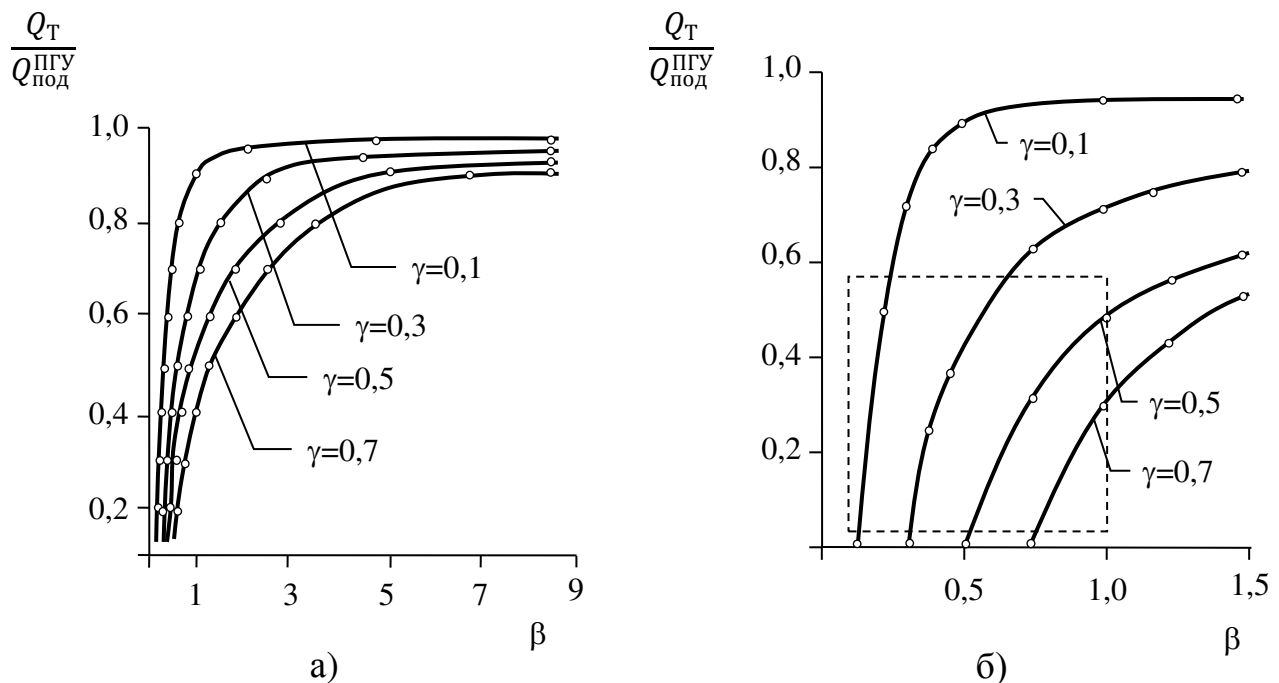


Рис. 4. Относительный отпуск теплоты теплофикационной ПГУ с дожиганием топлива в зависимости от теплофикационного показателя β и коэффициента бинарности γ

Полезная электроэнергия, полученная в теплофикационной парогазовой установке

$$\begin{aligned}
 N_{ПГУ} &= N_{ГТУ} + N_{ПТУ} \\
 &= \eta_{ГТУ} Q_{\text{под}}^{\text{ГТУ}} + \eta_{ПТУ} Q_{\text{под}}^{\text{ГТУ}} - \eta_{ПТУ} \eta_{ГТУ} Q_{\text{под}}^{\text{ГТУ}} + \eta_{ПТУ} Q_{\text{под}}^{\text{ПТУ}} - \eta_{ПТУ} Q_{\text{т}} = \\
 &= \eta_{ГТУ} Q_{\text{под}}^{\text{ГТУ}} + \eta_{ПТУ} (Q_{\text{под}}^{\text{ГТУ}} + Q_{\text{под}}^{\text{ПТУ}}) - \eta_{ПТУ} \eta_{ГТУ} Q_{\text{под}}^{\text{ГТУ}} + \eta_{ПТУ} Q_{\text{под}}^{\text{ПТУ}} - \eta_{ПТУ} Q_{\text{т}} = \\
 &= \eta_{ГТУ} (1 - \eta_{ПТУ}) Q_{\text{под}}^{\text{ГТУ}} + \eta_{ПТУ} (Q_{\text{под}}^{\text{ПГУ}} - Q_{\text{т}}). \quad (4)
 \end{aligned}$$

Определяя теоретический КПД ПГУ как

$$\eta_{\text{ПГУ}} = \frac{N_{\text{ПГУ}}}{Q_{\text{под}}^{\text{ПГУ}} - Q_{\text{т}}}, \quad (5)$$

получим

$$\eta_{\text{ПГУ}} = \eta_{\text{ГТУ}}(1 - \eta_{\text{ПТУ}})\beta + \eta_{\text{ПТУ}}. \quad (6)$$

В этом выражении теплофикационный показатель ПГУ

$$\beta = \frac{Q_{\text{под}}^{\text{ГТУ}}}{Q_{\text{под}}^{\text{ПГУ}} - Q_{\text{т}}}. \quad (7)$$

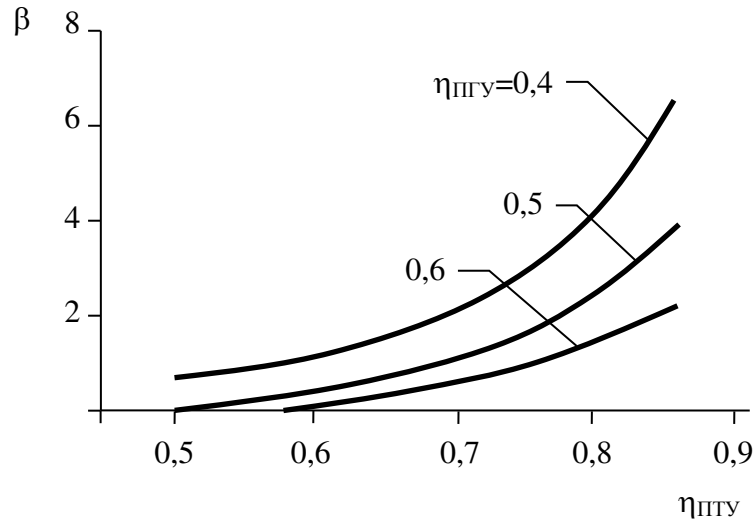


Рис. 5. Влияние теплофикационного показателя (β) и КПД паротурбинной установки, работающей по тепловому графику нагрузки ($\eta_{\text{ПТУ}}$) на КПД ПГУ ($\eta_{\text{ПГУ}}$)

Теплофикационный показатель β характеризует отпуск теплоты парогазовой установкой и с учётом (1) и после несложных преобразований:

$$\frac{Q_{\text{т}}}{Q_{\text{под}}^{\text{ПГУ}}} = \frac{\beta - \gamma}{\beta}. \quad (8)$$

Учитывая, что теоретически в исследуемой установке $0 < \frac{Q_{\text{т}}}{Q_{\text{под}}^{\text{ПГУ}}} \leq 1$, теплофикационный показатель β может принимать значения $\beta > 0$, рис. 4.

Теплофикационная ПГУ характеризуется работой паротурбинной установки в теплофикационном режиме. Можно видеть, что с ростом комбинированной выработки электроэнергии, характеризуемой ростом КПД паротурбинной установки ($\eta_{\text{ПТУ}}$), растёт и теплофикационный показатель β ПГУ, рис.5. При этом для обеспечения высоких КПД ПГУ не следует стремиться к высоким значениям β .

Таким образом в статье показаны перспективы применения ПГУ с бинарностью меньше единицы.

Список литературы

1. Петреня, Ю. К. История парогазового цикла в России. Перспективы развития / Ю. К. Петреня // Материалы НТК «Энергетическое машиностроение России – новые решения» 16.11.2006. – Екатеринбург: ЗАО «Уральский турбинный завод», 2007.
2. ПГУ с преимущественным использованием твердого топлива / П. А. Щинников, И. В. Бородихин и др. / Проблемы энергетики. Известия ВУЗов, Казань, 2007. – № 3 – 4. – С. 13 – 21.
3. Щинников, П. А. Энергосберегающая парогазовая технология реконструкции пылеугольной ТЭЦ / П. А. Щинников, А. А. Ловцов, Г. В. Ноздренко / Теплофизика и аэромеханика. – 2002. Т.9. – №3. – С.445-449.
4. Щинников, П. А. Эффективность реконструкции пылеугольных паротурбинных ТЭЦ в парогазовые путём газотурбинной надстройки и исследование показателей их функционирования / П. А. Щинников, Г. В. Ноздренко, А. А. Ловцов // Новосибирск: Наука: Сиб изд. фирма, 2002. – 95 с.
5. Григорьева О. К. Комплексное исследование ПГУ пылеугольных ТЭЦ с газовыми сетевыми подогревателями. – Автореферат дисс. на соискание степени к.т.н. – Новосибирск: НГТУ, 2006. – 16 с.
6. Газотурбинные энергетические установки: учебное пособие для вузов / С. В. Цанев, В. Д. Буров и др. под ред. С. В. Цанева. – М.: Издательский дом МЭИ, 2011. – 428 с.

УДК 629.1

Е. С. Ибрагимов, Р. З. Латыпов

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТОПЛИВОИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИСТОЧНИКА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЗА СЧЁТ ДОПОЛНЕНИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ (САР) ПАРОВОГО КОТЛА ОПЦИЕЙ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОДДЕРЖАНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО ИЗБЫТКА ВОЗДУХА С КОНТРОЛИРУЕМЫМ ХИМИЧЕСКИМ НЕДОЖОГОМ

Повышение эффективности работы котлов, при сравнительно незначительной величине капитальных вложений является актуальной задачей повышения энергоэффективности источника теплоснабжения. Одним из способов повышения

эффективности работы котлов является повышение их КПД «брутто». Повышение КПД котлов «брутто» может быть обеспечено за счёт уменьшения избытка воздуха в режимном сечении котла до его оптимального значения. Оптимальный избыток воздуха на котле может быть найден исходя из обеспечения следующих критериев: обеспечения работы котла с минимально допустимым хим. недожогом, при котором скорость загрязнения поверхностей нагрева котла остаётся на допустимом уровне (хим. недожог определяется путём определения концентрации СО в дымовых газах) и обеспечения работы котла с избытком воздуха, меньшим критического (при критическом избытке воздуха происходит резкий рост хим. недожога при незначительном уменьшении избытка воздуха).

Необходимо отметить, что работа с минимальными избытками воздуха имеет достаточно существенный экономический эффект. Как показывают результаты контроля технического состояния энергетического парового котла ст. №14 Салаватской ТЭЦ типа ТГМ-151 оснащение системы автоматического регулирования котла дополнительной опцией поддержания оптимального избытка воздуха при контролируемой величине хим. недожога, соответствующей 30 ppm концентрации СО, при работе на газе обеспечило за год промышленной эксплуатации экономию топлива 94 т/г.

Повышение эффективности работы котлов, при сравнительно незначительной величине капитальных вложений является актуальной задачей повышения энергоэффективности источника теплоснабжения.

Одним из способов повышения эффективности работы котлов является повышение их КПД «брутто». Повышение КПД котлов «брутто» может быть обеспечено за счёт уменьшения избытка воздуха в режимном сечении котла до его оптимального значения [1]. Оптимальный избыток воздуха на котле может быть найден исходя из обеспечения следующих критериев: обеспечения работы котла с минимально допустимым хим. недожогом, при котором скорость загрязнения поверхностей нагрева котла остаётся на допустимом уровне (хим. недожог определяется путём определения концентрации оксида углерода (СО) в дымовых газах) и обеспечения работы котла с избытком воздуха, меньшим критического (при критическом избытке воздуха происходит резкий рост хим. недожога при незначительном уменьшении избытка воздуха).

Необходимо отметить, что работа с минимальными избытками воздуха имеет достаточно существенный экономический эффект. Как показывают результаты контроля технического состояния котлов типа ТГМ-151 Салаватской ТЭЦ, даже сравнительно незначительное увеличение избытка воздуха от оптимального значения примерно на 0,1 % приводит к перерасходу топлива на 0,1 – 0,2 т/ч [2], [3], [4]. Таким образом, постоянное поддержание оптимального избытка воздуха для данного типа котлов соответствует экономии топлива за год примерно 170 т/г. Поддержание минимально

возможного избытка воздуха уменьшает затраты на тягу и дутьё и способствует уменьшению концентрации оксидов азота в дымовых газах.

Поэтому, постоянное автоматическое поддержание минимально возможного избытка воздуха (оптимального соотношения «топливо-воздух») является энергоэффективным мероприятием.

В настоящее время типовые системы автоматического регулирования паровых котлов позволяют обеспечивать в автоматическом режиме регулирование уровня, разрежения в топке, содержания кислорода в дымовых газах, давления пара после котла. Оптимальное соотношение «топливо – воздух» поддерживается исходя из запрограммированной взаимосвязи между содержанием кислорода и расходом пара (или топлива), которая определяется по режимной карте котла. При этом отсутствует автоматическая коррекция содержания кислорода в дымовых газах при отклонении хим. недожога в дымовых газах от предусмотренной в режимной карте. При работе котла в переменном режиме, что имеет место из-за изменения диспетчерского графика нагрузки ТЭС в течение каждых суток, режим горения на котле так же существенно меняется. При этом новое соотношение «топливо-воздух» опять принимается из ранее составленной режимной карты котла. Но режимная карта котла составляется на основе режимно-наладочных испытаний, которые были проведены для того технического состояния котла, его горелочных устройств, температуры холодного воздуха, питательной воды, температуры и свойств топлива (его калорийности), какие были на котле в момент проведения испытаний. Соответственно, при эксплуатации котла после проведённых испытаний, когда происходит изменение вышеуказанных параметров (например, температуры холодного воздуха), а так же постепенно происходит и изменение технического состояния котла (например, появление дефектов на горелочных устройствах, механизмах регулирования положения направляющих аппаратов, изменения величины присосов), относительно имевших место при испытаниях, найденное при испытаниях оптимальное соотношение «топливо-воздух» перестаёт быть актуальным. Существующая на ТЭС группа режима проводит периодический контроль за режимом горения и вносит при необходимости коррективы в соотношение «топливо – воздух», но проводит эту работу только в рабочие дни и не всегда каждый рабочий день. Но и при организации ежедневного контроля за режимом горения из-за переменного характера режима работы котла в течение суток, станционные специалисты по наладке и испытаниям не в состоянии постоянно, в течение суток контролировать и вести режим горения с оптимальный избытком воздуха, т.к.

не являются оперативным персоналом. Таким образом, постоянный контроль за режимом горения ведут только машинисты котлов. Поэтому задача своевременной корректировки режима горения полностью определяется человеческим фактором. Кроме того, корректировка программного обеспечения в части изменения заданного в программе автоматического регулирования соотношения «топливо-воздух» не всегда может быть выполнена силами только оперативного персонала и в ночное время и в выходные дни может не выполняться. Внимание машинистов котлов может быть отвлечено происходящими переключениями в цехе, пуском – остановом оборудования и другими факторами.

Необходимо отметить, что величина хим. недожога, при котором не наблюдается ухудшение ТЭП котла в течение длительного времени по опыту эксплуатации котлов в ООО «Башкирская генерирующая компания» имеет сравнительно незначительную величину, например, при работе на газе принимается равной примерно 30 ppm. Так как, поддержание такой величины без средств автоматики затруднительно, то при проведении испытаний с целью разработки режимной карты котла оптимальное соотношение «топливо – воздух» специалисты, проводившие испытания, могут в некоторых случаях определить оптимальную величину избытка воздуха с «запасом» по величине хим. недожога, т.е. при величине хим. недожога равным нулю. Т.к. в этом случае котёл гарантированно будет работать без загрязнения при изменяющихся режимах работы и его состояния.

Для исключения человеческого фактора в постоянном поддержании минимально возможного избытка воздуха за счёт работы контролируемой величиной хим. недожога предлагается оснастить систему автоматического регулирования котла дополнительной опцией, которая позволит в автоматическом режиме поддерживать оптимальный (близкий к критическому) избыток воздуха и заданную величину хим. недожога для сохранения загрязнения котла на допустимом уровне.

Для достижения поставленной цели, котёл ст. №14 Салаватской ТЭЦ был оснащён трёхкомпонентными газоанализаторами непрерывного действия типа КГА-8С, показания которых выводятся в модернизированную опцией работы при оптимальных избытках воздуха типовую систему САР ПК. Сигнал о концентрации кислорода и СО поступает в микропроцессор. При уменьшении содержания СО относительно максимально допустимого значения (например, 30 ppm при работе на газе и 60 ppm при работе на мазуте), микропроцессор вырабатывает сигнал на пошаговое прикрытие направляющих аппаратов дутьевых вентиляторов (ДВ),

постепенно уменьшая избыток воздуха. Типовой регулятор САР котла при этом обеспечивает поддержание разряжения в топке и температуры перегретого пара. При достижении критического избытка воздуха или максимально допустимого содержания хим. недожога процесс прикрытия направляющих аппаратов ДВ прекращается. Далее автоматика поддерживает общий избыток воздуха на котёл, соответствующий максимально допустимому значению СО из приведённого выше диапазона возможного изменения его значений.

Формирование команды на пошаговое прикрытие (приоткрытие) направляющих аппаратов ДВ происходит с задержкой, соответствующей времени установления нового стационарного значения концентрации СО в дымовых газах после предыдущего шага изменения положения направляющих аппаратов ДВ. Изменение концентрации СО носит колебательный характер со средним значением за определённый интервал времени соответствующему заданию для системы автоматики.

При появлении дефектов горелочных устройств, распределения воздуха или топлива по горелкам котла, при которых работа системы автоматики не сможет устранить появляющийся перекося по СО по сторонам котла или не сможет обеспечить допустимое значение максимально возможного значения хим. недожога, система автоматики выводит информацию оперативному персоналу о невозможности обеспечить оптимальный режим горения. После устранения оперативным персоналом причин перекося по хим. недожогу или повышенного его значения (например, разгрузка дефектной горелки или её отключение) система снова переводится в режим автоматического поддержания оптимального избытка воздуха.

Так же возможен вывод информации о режиме горения в автоматическую информационную систему дистанционного контроля режима работы котла. Это позволит решить попутно вопрос о мониторинге концентрации вредных веществ в дымовых газах котла.

Внедрение дополнительной опции системы САР на котле типа ТГМ-151 позволило уменьшить избытки воздуха на котле и повысить его КПД, за счёт чего было достигнута экономия 94 т топлива за год эксплуатации котла.

Затраты на выполнение работы составили 823 тыс. рублей. Исполнителем работ по разработке, монтажу и наладке дополнительной опции системы САР котла был Инженерно-технический центр АСУ ТП Уфимского филиала «Кварц групп».

Необходимо отметить, что от оперативного персонала и инженеров группы режима требуется постоянный контроль за состоянием горелочных устройств котла, т.к., как показывают результаты промышленной эксплуатации,

при появлении дефектов на них, эффект от внедрения дополнительной опции поддержания оптимального избытка воздуха значительно уменьшается.

Список литературы

1. Воликов, А. Н. Повышение эффективности сжигания топлива в котлоагрегатах / А. Н. Воликов, О. Н. Новиков, А. Н. Окатьев / Энергонадзор-информ. – 2010. – №1(43). – С. 54 – 57.

2. Ибрагимов, Е. С. Отчёт по контролю технического состояния и режима работы котла ТП-14-3 ст. №11 Салаватской ТЭЦ. Топливо – газ / Е. С. Ибрагимов, А. Г. Рыжиков, А. Р. Мухаметзянов // Башкирская генерирующая компания.- 2012 г.

3. Ибрагимов, Е. С. Технический отчёт по теплотехническим испытаниям котла ТГМ-151 ст. №15 Салаватской ТЭЦ после капитального ремонта. Топливо – газ / Е. С. Ибрагимов, А. В. Кузиков, В. А. Макаров // Башкирская генерирующая компания. – 2009 г.

4. Ибрагимов, Е. С. Технический отчёт по теплотехническим испытаниям котла ТГМ-151 ст. №15 Салаватской ТЭЦ после капитального ремонта. Топливо – газ / Е. С. Ибрагимов, А. Г. Рыжиков, А. Р. Мухаметзянов // Башкирская генерирующая компания.-2012 г.

УДК 662.61: 662.93 (075.8)

Е. С. Флек, В. Р. Ведрученко

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТОПЛИВОИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИСПЕРСНЫХ ТОПЛИВНЫХ СИСТЕМ

Рассмотрены основные виды дисперсных топливных систем: водотопливные эмульсии и топливные суспензии. Предложена классификация дисперсных топливных систем по основным параметрам.

В настоящее время в энергетике возрос интерес к использованию дисперсных топливных систем (ДТС). Дисперсные системы (ДС) как более общее понятие, чем ДТС, представляют собой образования из двух или большего числа фаз (тел) с сильно развитой поверхностью раздела между ними. В ДС, по крайней мере, одна из фаз (дисперсная) распределена в виде мелких

частиц (кристалликов, нитей пленок или пластинок, – капель, пузырьков) в другой, сплошной, фазе – дисперсионной среде.

В зависимости от агрегатного состояния исходных компонентов, ДС подразделяются на туманы, дымы, пыли, пены, эмульсии, коллоидные растворы, суспензии, аэрогели, твердые эмульсии и твердые золи (табл. 1). ДС, образованная газовой средой и газовой фазой, на практике не может быть реализована, поскольку газы в обычных условиях растворимы друг в друге и образуют гомогенную систему [2]. Данная классификация ДС была предложена Во. Оствальдом и доработана нами [1]. Она удобна для обобщения всего многообразия ДС и в настоящее время является наиболее общепринятой.

Таблица 1

Классификация дисперсных систем по агрегатному состоянию
дисперсной фазы и дисперсионной среды

Дисперсионная среда	Дисперсная фаза		
	Газовая	Жидкая	Твердая
Газовая	Дисперсные системы не образуются	Туманы	Дымы, пыль
Жидкая	Пены	Эмульсии - водотопливные (ВТЭ) (водомазутные (ВМЭ), водобензиновые (ВБЭ) и др.); - сильно забалластированные сажевые газы (СЗСГ); - др.	Суспензии - топливные (мазутугольные (МУС), водоугольные (ВУС), искусственные композитные жидкие топлива (ИКЖТ), торфоугольные композиции (ТУК) и др.)
		Золи (коллоидные растворы)	
Твердая	Аэрогели (пористые тела)	Жидкие включения в твердых телах (твердые эмульсии)	Твердые золи

К ДТС относятся суспензии и эмульсии. Суспензия – это ДС, в которой дисперсной фазой является твердое вещество, а дисперсионной средой – жидкость. Примером топливных суспензии служат мазутугольные, и водоугольные суспензии, искусственные композитные жидкие топлива и торфоугольные композиции.

Мазутугольные суспензии, представляющие собой взвеси частиц древесного или каменного угля (размером меньше 0,1 мм) в мазутах средней вязкости. Изучением сжигания данного топлива в мартеновских печах занимался профессор В. Ф. Кустов в 40-х гг XX в.. Также эти системы

представляют интерес и с теоретической стороны, так как на их примере можно исследовать влияние твердых частиц на вязкость жидких нефтепродуктов [1, 3].

Водоугольная суспензия (ВУС) представляет собой жидкую смесь горючего элемента (каменный и бурый угли, торф, отходы углеобогащения, нефтяной кокс и пр.) и воды. ИКЖТ является подвидом ВУС, и представляет собой смесь из угля, воды и прочих компонентов приготовленную с использованием специальных устройств – кавитаторов. Кавитационная обработка – это воздействие на среду большими давлениями и температурами. Кавитационная обработка позволяет получить однородное мелкодисперсное топливо устойчивое к седиментации [4].

Эмульсиями называют системы, содержащие, как минимум, две нерастворимые или малорастворимые друг в друге жидкости, микроскопические капли одной из которых (дисперсная фаза) дискретно распределены в другой (дисперсная среда). Частицы дисперсной фазы эмульсии имеют сферическую форму, так как сферические частицы по сравнению с частицами другой формы обладают минимальной поверхностью, а, следовательно, минимальной поверхностной энергией [5].

Примером водотопливных эмульсий (ВТЭ) служат водомазутные (ВМЭ), водобензиновые (ВБЭ) и водомаслоугольные эмульсии.

Свойства эмульсий зависят от их морфологии и свойств исходных компонентов. Для ВТЭ главными факторами являются содержание воды, распределение капель по размерам (фракционность) и стабильность, значения которых зависят от методики приготовления эмульсий. Регулирование значений указанных параметров на стадии приготовления ВТЭ позволяет управлять характером сгорания эмульсии [6].

Сложность применения воды в смеси с легким топливом заключается в том, что это две несмешивающиеся жидкости, в отличие от смесей на основе тяжелых топлив – котельного и мазутов: стабильность водомазутных эмульсий обеспечивается благодаря наличию в мазутах асфальтенов и нефтяных смол, которые относятся к природным поверхностно-активным веществам (ПАВ), т.е. являются естественными эмульгаторами [6].

Необходимо отметить, что очень сложно классифицировать ДТС. Это связано с тем, что любая предложенная классификация принимает в качестве критерия не все свойства ДТС, а только какое-нибудь одно из них, и могут найтись такие частные случаи, для которых принятая классификация окажется

спорной или даже неприложимой [2].

По этой причине топливные суспензии и эмульсии классифицируются отдельно друг от друга.

Топливные суспензии можно классифицировать по зольности угля, максимальной доли твердой фазы и максимальной крупности частиц в суспензии (рис. 1) [7].

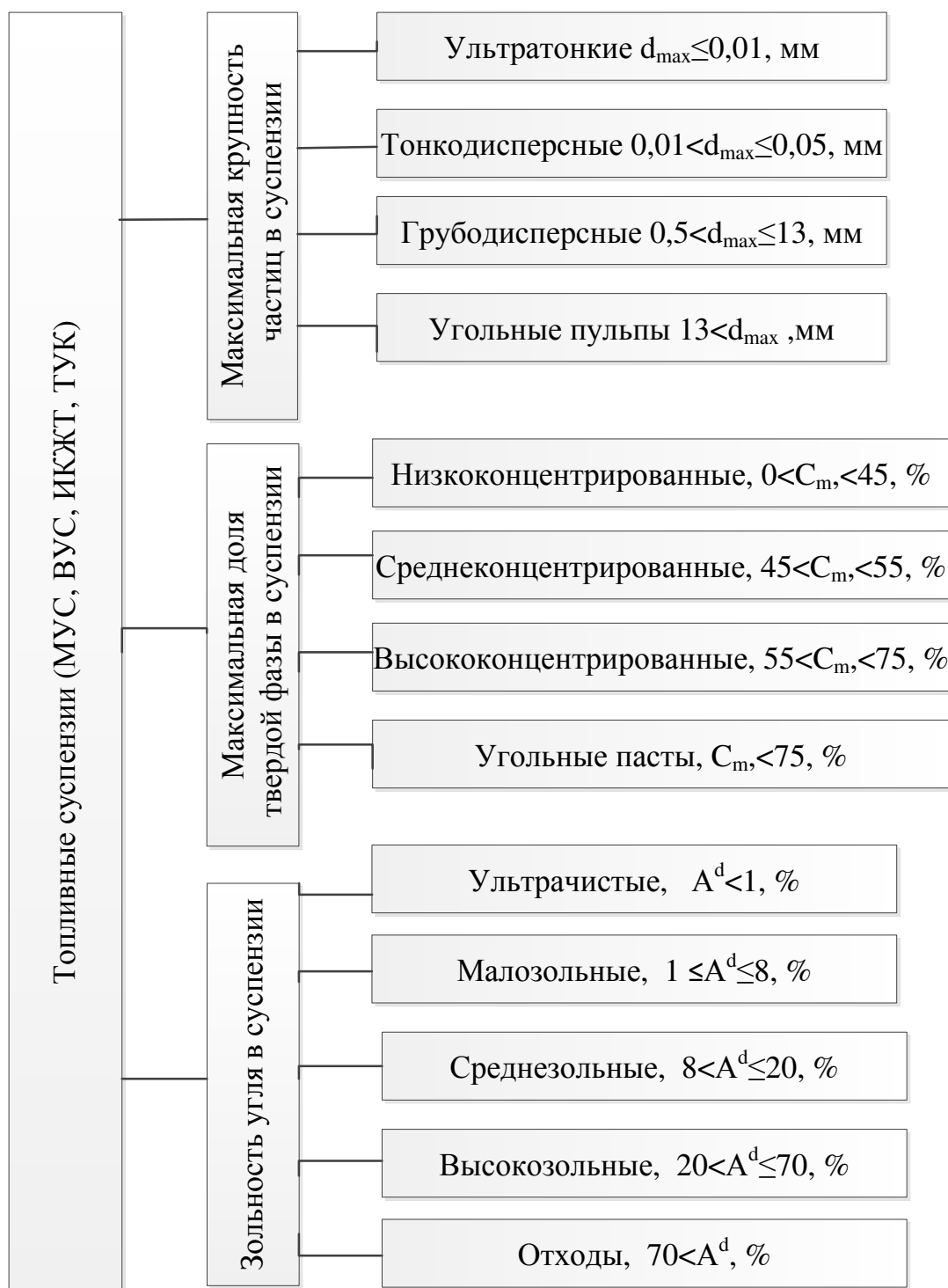


Рис. 1. Классификация топливных суспензий

На рис. 2 представлена классификация водотопливных эмульсий по типу, обратимости, концентрации и структуре эмульсии.

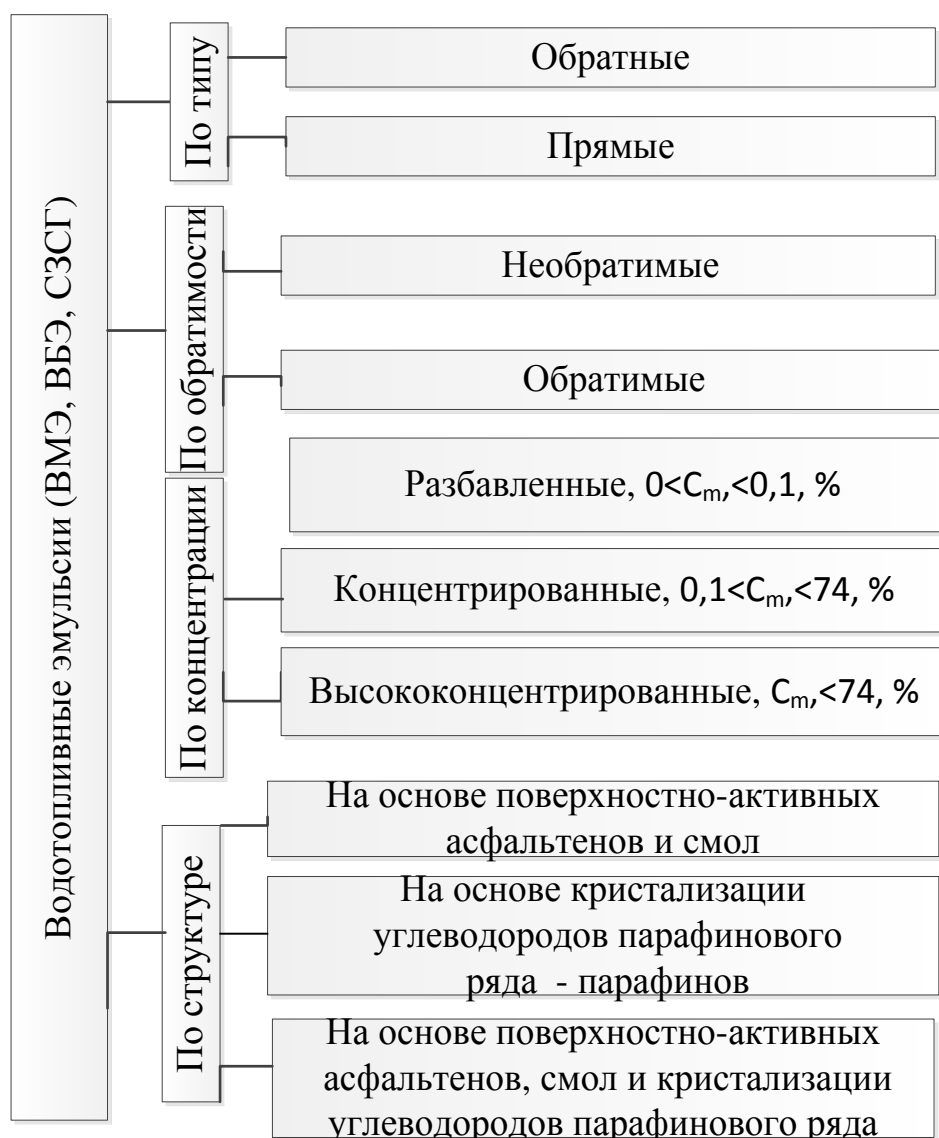


Рис. 2. Классификация водотопливных эмульсий

Системы, сухой остаток которых не способен самопроизвольно диспергироваться в дисперсионной среде называются необратимыми, а те, которые при соприкосновении со средой обычно сначала набухают, а затем самопроизвольно растворяются и снова образуют дисперсную систему, называют обратимыми [8].

По качественному составу фаз различают эмульсии двух типов: прямые эмульсии – «масло в воде» (м/в) и обратные эмульсии - «вода в масле» (в/м) [8].

Эмульсии различают также по количественному соотношению фаз. По этому показателю эмульсии классифицируют на разбавленные, концентрированные и высококонцентрированные. Разбавленными считаются

такие эмульсии, у которых капельки не способны взаимодействовать между собой. Как правило, такие эмульсии не могут содержать более 0,1% дисперсной фазы по объему. Концентрированными называют эмульсии, у которых капельки могут взаимодействовать, но остаются недеформированными, т.е. сохраняют сферическую форму. Эмульсии считаются концентрированными если дисперсная фаза занимает от 0,1 до 74%. Выше 74% капельки дисперсной фазы деформируются, они принимают пентаэдрическую форму, подобную газовым пузырькам в пенах, и поэтому высококонцентрированные эмульсии часто называют пенообразными [8].

По структуре ВТЭ можно разделить на три основные группы, образующиеся на основе: поверхностно-активных асфальтенов и смол; кристаллизации углеводородов парафинового ряда – парафинов; поверхностно-активных асфальтенов, смол и парафинов [9].

ВТЭ первой группы состоят из мельчайших глобул воды, окруженных слоем асфальтенов и смол, такие образования объединяются в эмульсионную систему, включающую две, три и более глобул. Подобные ВТЭ при нагревании до 100 °С не поддаются разрушению. Они могут быть разрушены механически или путем воздействия химических средств обработки [9].

ВТЭ второй группы состоит из глобул воды, заключенных между выпавшими в воде кристаллами парафина. Такая эмульсия образуется при остывании топлива. В отличие от эмульсий первой группы, ВТЭ второй группы легко разрушаются путем подогрева топлива до температуры выше 40-60 °С [9].

ВТЭ третьей группы имеют более сложную структуру, состоящую из глобул воды, окруженных слоем асфальтенов и смол с вкраплением между этими образованиями кристаллов парафина. По сравнению с ВТЭ первой группы системы третьей группы легче разрушаются путем подогрева топлива. При неоднократном нагреве и охлаждении топлива может произойти разделение эмульсии на две зоны: ВТЭ первой группы и ВТЭ второй группы [9].

Таким образом, на основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что ДТС – это соединения, которые сложно классифицировать в целом. При детальном рассмотрении каждой из них, они, в свою очередь, могут быть классифицированы по выбранным признакам: по агрегатному состоянию, дисперсности, концентрации, зольности, структуре и т.д.

Список литературы

1. Ведрученко, В. Р. Дисперсные топливные системы как энергоносители для стационарных теплогенерирующих установок и двигателей транспортных средств / В. Р. Ведрученко, В. В. Крайнов, М. В. Кокшаров // Повышение эффективности объектов теплоэнергетики и систем теплоснабжения: Межвуз. темат. сб. науч. тр. – ОмГУПС. – Омск. – 2012. – С. 28-33.
2. Воюцкий, С. С. Курс коллоидной химии. Изд. 2-е, перераб. и доп. / С. С. Воюцкий – М.: Химия, 1976. – 512 с.
3. <http://www.tehnoinfo.ru/plastichnostnefteproduktov/48.html>, (дата обращения: 20.01.2017).
4. Приготовление водоугольного топлива и технологии его сжигания / Ф. А. Серант, А. И. Цепенюк и др. // Сб. науч. ст. «Современная наука». – 2011. – №1(6). – С. 95-101.
5. Левина, Е. Ю. Обзор методов получения водно-топливных эмульсий / Е. Ю. Левина // Потенциал современной науки. – 2014. – № 5. – С. 36-39.
6. Атия, А. М. А. Особенности подготовки водотопливных эмульсий на основе легких топлив / А. М. Атия // Фундаментальные исследования. – 2011. – №8. – С. 706-709.
7. Сенчурава, Ю. А. Совершенствование технологии сжигания водоугольного топлива в вихревых топках: Дис... канд. техн. наук. – Кемерово, 2008.
8. <http://www.xumuk.ru/colloidchem/188.html>, (дата обращения: 21.03.2017).
9. Ведрученко, В. Р. Особенности структуры и эксплуатационные свойства естественных и искусственных водотопливных эмульсий для энергетических установок / В. Р. Ведрученко, М. В. Кокшаров, В. В. Крайнов // Вестник РГУПС. – 2001. – №2. – С. 53-56.

УДК 697.34

В. З. Дмитриев, Д. В. Жуков

ВНЕДРЕНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ МЕРОПРИЯТИЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РЕМОНТА ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ АО «ОМСК РТС»

В статье приведены основные мероприятия по энергосбережению, реализованные в тепловых сетях АО «Омск РТС» при проведении ремонтных работ за последние несколько

лет. Проанализированы основные причины возникновения сверхнормативных потерь тепловой энергии в тепловых сетях и показаны пути их снижения. Приведены основные результаты, полученные при внедрении энергосберегающих мероприятий.

В процессе эксплуатации тепловых сетей значительную долю затрат составляют потери тепловой энергии, величина которых достигает 25 – 30 % от величины отпуска тепловой энергии от тепловых источников. Повышенные потери тепловой энергии приводят не только к дополнительным затратам теплосетевой организации, но также ухудшают качество теплоснабжения потребителей. Поэтому проблема энергосбережения при транспортировке тепловой энергии от источника до потребителей в части снижения потерь тепловой энергии и потерь теплоносителя является весьма актуальной.

Анализируя проблему сверхнормативных потерь в тепловых сетях, можно выделить основные факторы низкой энергоэффективности тепловых сетей. Это несовершенство и износ тепловой изоляции трубопроводов из-за периодического либо постоянного воздействия воды природного и техногенного характеров, увлажнение тепловой изоляции под воздействием влаги, длительность эксплуатации трубопроводов, утечки теплоносителя через неплотности трубопроводов и оборудования и ряд других факторов.

Одним из основных мероприятий по решению проблемы является своевременный ремонт тепловых сетей, выполняемый в соответствии с утвержденным графиком (планом) на основе фактического состояния трубопроводов. При ремонте тепловой сети выполняется комплекс технических мероприятий, направленных на поддержание или восстановление первоначальных эксплуатационных качеств тепловой сети и входящих в нее оборудования и сооружений [4]. Сама по себе замена трубопроводов без выполнения мероприятий по увеличению межремонтного периода значительного эффекта не приносит, поэтому уже на этапе проектирования и в процессе выполнения строительно-монтажных работ необходимо предусматривать мероприятия не только по обеспечению долговечности трубопроводов, но также по энергосбережению и исключению причин повышенных потерь либо снижению степени влияния факторов.

В настоящее время на балансе АО «Омск РТС» находится 266 км магистральных тепловых сетей, в том числе 149 км надземной прокладки (56 %), 90 км подземной канальной прокладки (34 %) и 27 км подземной бесканальной прокладки (10 %). Средний диаметр трубопроводов – 600 мм. Доля

трубопроводов со сроком эксплуатации свыше 25 лет составляет 34 % (91 км), в том числе надземной прокладки – 27 % (73 км), подземной – 7 % (18 км).

Ниже приведены основные энергосберегающие мероприятия, реализованные в последние годы в процессе подготовки и проведения ремонтных работ в тепловых сетях АО «Омск РТС».

1. Капитальный ремонт тепловых сетей

При проведении капитального ремонта тепловых сетей одновременно решаются две задачи: повышение надежности и повышение энергоэффективности за счет исключения сверхнормативных потерь тепловой энергии через изоляцию и с утечками.

В процессе эксплуатации трубопроводов тепловых сетей под воздействием влаги происходит коррозионный износ стенки трубопровода. Анализ повреждаемости трубопроводов тепловых сетей АО «Омск РТС» показал, что основной причиной повреждений является наружная коррозия (58 %). Эта же причина характерна для систем теплоснабжения в других городах [1]. Возникновению и развитию наружной коррозии способствуют негерметичность канала и его перекрытий, в результате чего происходит попадание в канал и на трубопроводы воды и солесодержащих растворов при обработке автодорог противогололедными реагентами, попадание грунта в канал, заиливание канала на углах поворота и перед футлярами. Скорость наружной электрохимической коррозии увеличивается при наличии в непосредственной близости электрических кабельных линий и линий электрического транспорта.

В условиях ограниченности средств перед персоналом теплосетевых организаций стоит задача по определению самых ненадежных участков, на которых в первую очередь необходимо производить замену трубопроводов, причем требования к качеству планирования возрастают из-за увеличения количества ненадежных участков и снижения протяженности ремонта.

В АО «Омск РТС» разработана методика определения приоритетности вывода в ремонт участков. Для каждого участка рассчитывается комплексный показатель K , исходя из 19 критериев (технические и социально-экономические), каждый из которых имеет свой весовой коэффициент. В зависимости от величины показателя ($K \rightarrow \max$) производится расстановка приоритетов и формируется план капитального ремонта участков с наибольшими значениями показателя.

Между трубопроводом тепловой сети и окружающей средой постоянно протекает процесс теплообмена, интенсивность которого при соприкосновении трубы с водой либо полном затоплении возрастает, что приводит к увеличению потерь. Поэтому уже на этапе проектирования анализируется возможность выглубления канала и трубопроводов из зон подтопления, возможность максимального поднятия трубопровода от дна канала с целью исключения взаимодействия с водой. К сожалению, в условиях плотной городской застройки и наличия большого количества смежных коммуникаций выглубить канал без выноса смежных коммуникаций не всегда возможно. В этом случае решением может стать прокладка попутных дренажей и выпусков воды.

В процессе производства ремонтных работ особое внимание уделяется восстановлению и (или) замене строительных конструкций каналов, устройству гидроизоляции строительных конструкций каналов и камер, а также нанесению антикоррозионных покрытий и теплоизоляционных конструкций.

Несмотря на существенное снижение суммарной протяженности заменяемых трубопроводов, количество аварий по причине коррозионного износа трубопроводов за последние годы снизилось, что подтверждает правильность подхода к решению задачи определения приоритетности вывода в капитальный ремонт участков трубопроводов.

2. Восстановление тепловой изоляции

На большинстве трубопроводов тепловых сетей АО «Омск РТС» согласно проектным решениям применена изоляция из минераловатных матов. В процессе эксплуатации конструкция тепловой изоляции не выдерживает поверхностных нагрузок, со временем сжимается и обвисает вниз, а также увлажняется при воздействии атмосферных осадков. Помимо естественных природных факторов тепловая изоляция подвергается актам вандализма, что ведет к увеличению тепловых потерь и эксплуатационных затрат.

Основной эффект при восстановлении изоляции заключается в снижении потерь и увеличении долговечности теплоизоляционной конструкции за счет применения менее сжимаемого материала расчетной толщины, обеспечивающего нормативные тепловые потери.

В условиях ограниченности средств задача заключается в определении участков, на которых в первую очередь необходимо восстанавливать изоляцию с целью максимального снижения потерь.

В АО «Омск РТС» разработана методика определения приоритетности

восстановления тепловой изоляции на участках. По каждому участку производится расстановка приоритетов по сроку окупаемости ($T \rightarrow \min$) и формируется план восстановления изоляции на участках. При определении срока окупаемости учитываются режимы и период работы каждого участка в зависимости от источника тепловой энергии, стоимость вырабатываемой тепловой энергии, затраты на восстановление изоляции, потери тепловой энергии исходя из фактического состояния изоляции, нормативные потери.

Фактическое состояние изоляции определяется экспертной оценкой в процессе проведения обследования: отсутствие (100 %), сильный износ (75 %), средний износ (30 – 50 %), незначительный износ (< 30 %). При расчете потерь тепловой энергии к коэффициентам теплопроводности теплоизоляционных материалов применяются соответствующие поправки k_λ , указанные в табл. 1 [3].

Таблица 1

Значения поправок k_λ к коэффициентам теплопроводности теплоизоляционных материалов в зависимости от технического состояния изоляции

Техническое состояние теплоизоляционной конструкции	Поправочный коэффициент k_λ
Незначительное разрушение покровного и основного слоев изоляционной конструкции	1,3 – 1,5
Уплотнение изоляции сверху трубопровода и обвисание снизу	1,6 – 1,8
Частичное разрушение теплоизоляционной конструкции, уплотнение основного слоя изоляции на 30 – 50 %	1,7 – 2,1
Уплотнение основного слоя изоляции на 75 %	3,5

Для участков без изоляции расчет потерь выполняется по известным зависимостям процесса теплопередачи через стенку трубы.

Восстановление изоляции осуществляется как в процессе проведения капитального ремонта, так и текущим ремонтом (на надземных участках трубопроводов). При выполнении ремонтных работ в качестве основного теплоизоляционного материала применяются минераловатные плиты «Техноблок Оптима» (ТехноНИКОЛЬ) с низким коэффициентом сжимаемости (8 %), который позволяет максимально сохранить теплотехнические свойства в течение срока эксплуатации. Данный материал был выбран в результате анализа основных технических и эксплуатационных характеристик различных изоляционных материалов в сравнении со стоимостью. Аналогичными характеристиками обладают плиты «ТЕХ БАТТС» (ROCKWOOL). Толщина

теплоизоляционного слоя определяется в соответствии с действующими нормами [6] и в зависимости от диаметра и температуры теплоносителя составляет для больших диаметров от 80 до 120 мм. Покровный слой выполняется из рулонных материалов: для прокладки в каналах применяется рубероид РПП-300, на надземных участках – рубероид и стеклопластик РСТ-250.

Эффективность восстановления изоляции подтверждена результатами проводимых испытаний участков тепловых сетей на тепловые потери, а также тепловизионным обследованием.

3. Установка вытяжных устройств.

В процессе эксплуатации в каналы тепловых сетей может попадать вода как в силу естественных (грунтовая, паводковая), так и техногенных (повреждения трубопроводов тепловых сетей, смежных сетевых организаций) причин, при этом влажность воздуха в канале увеличивается.

Проведенные исследования показывают, что с увеличением влажности воздуха в каналах помимо увеличения скорости наружной коррозии также увеличиваются потери тепловой энергии. Так, например, увеличение влажности с 60 % до 100 % приводит к повышению скорости кислородной коррозии в 1,5 – 2 раза и увеличению потерь тепловой энергии на 10 – 15 % [2].

При расчете потерь тепловой энергии в зависимости от условий эксплуатации каналов тепловых сетей и увлажнения изоляции к коэффициентам теплопроводности теплоизоляционных материалов применяются соответствующие поправки k_λ , указанные в табл.2 [3].

Таблица 2

Значения поправок k_λ к коэффициентам теплопроводности теплоизоляционных материалов в зависимости от условий эксплуатации изоляции

Условия эксплуатации	Поправочный коэффициент k_λ
Периодическое затопление канала грунтовыми водами или смежными коммуникациями	3,0 – 5,0
Незначительное увлажнение изоляции (10 – 15 %)	1,4 – 1,6
Увлажнение изоляции на 20 – 30 %	1,9 – 2,6
Сильное увлажнение изоляции (40 – 60 %)	3,0 – 4,5

Для снижения влажности воздуха в канале и, соответственно, увлажнения изоляции при выполнении ремонтных работ устанавливаются вытяжные устройства, принцип работы которых заключается в естественной вентиляции

каналов и тепловых камер за счет поступления холодного, более сухого воздуха в канал с одной стороны и удаления влажного воздуха с другой. Всего на подземных тепловых сетях АО «Омск РТС» установлено более 130 шт. подобных вытяжных устройств.

4. Прокладка попутных дренажей и выпусков.

В городе Омске существует проблема высокого уровня грунтовых вод. Отсутствие систем ливневой канализации и отвода ливневых вод приводит к тому, что в период паводка каналы теплотрасс пропускают паводковые воды. Кроме того, при проведении гидравлических испытаний и повреждениях трубопроводов теплоноситель из трубопровода попадает в канал, в результате чего происходит намокание изоляции. Вода также может попадать в негерметичный канал в местах пересечения с другими коммуникациями (водопровод, канализация) в случаях их повреждения.

С целью исключения подтоплений каналов прокладываются попутные дренажные линии (вдоль канала) и выпуски в системы ливневой канализации.

5. Применение трубопроводов в ППУ-изоляции

Применение современных предизолированных труб в ППУ-изоляции с системой ОДК в тепловых сетях АО «Омск РТС» осуществляется с 2004 г. на объектах нового строительства и реконструкции. Так как трубопроводы прокладываются бесканально, то, соответственно, исключаются проблемы, связанные с герметичностью каналов и воздействием влаги. Тепловые сети из труб в ППУ-изоляции проектируются в соответствии с требованиями свода правил [5].

В процессе выполнения строительно-монтажных работ особое внимание следует уделять испытаниям теплопроводов при промежуточной приемке: предварительным гидравлическим испытаниям на прочность, испытаниям стыков изоляции труб, испытаниям сигнальной системы ОДК. При качественном выполнении строительно-монтажных работ обеспечивается расчетный срок эксплуатации и нормативный уровень потерь, так как, во-первых, исключается контакт трубопровода непосредственно с водой, во-вторых, теплотехнические свойства ППУ-изоляции сохраняются в течение длительного срока. В АО «Омск РТС» в эксплуатации находятся 29 участков тепловых сетей в ППУ-изоляции различных диаметров (от 150 до 1000 мм) протяженностью 20 км.

6. Применение сильфонных компенсаторов

Применение сильфонных компенсаторов позволяет сократить протяженность трубопроводов и, соответственно, потери тепловой энергии за счет исключения вылетов П-образных компенсаторов. В АО «Омск РТС» доля применения компенсаторов этого типа ничтожно мала, но сильфонные компенсаторы применяются на объектах нового строительства и реконструкции, и их дальнейшее применение является одним из перспективных направлений.

7. Применение необслуживаемой запорной арматуры

Необслуживаемая арматура (краны шаровые, затворы поворотные) позволяет исключить протечки теплоносителя через сальниковые уплотнения. Кроме того, плотность закрытия арматуры при отключении поврежденного участка исключает дополнительные сбросы теплоносителя при устранении повреждений. В качестве наработки опыта эксплуатации на объектах нового строительства и реконструкции применено оборудование разных производителей: Naval OY, Danfoss JiP (до принятия требований по импортозамещению), LD, СТК и ряда других отечественных производителей.

Применение необслуживаемой запорной арматуры на объектах АО «Омск РТС» также является одним из перспективных направлений.

8. Установка дополнительной запорной арматуры

Протяженность секционированного участка определяется, исходя из продолжительности опорожнения (заполнения) трубопровода на секционированном участке и максимальном допустимом расстоянии (как правило, 1 км между секционирующей арматурой) [7]. Уменьшение протяженности секционирующего участка позволяет в процессе эксплуатации при возникновении повреждений (аварийных либо при испытаниях) уменьшить объем сбрасываемого теплоносителя и соответствующего количества тепловой энергии, а в отопительный период – снизить количество отключаемых объектов.

При проведении капитального ремонта также производится установка дополнительной секционирующей арматуры. За последние несколько лет на тепломагистралях дополнительно было установлено более 20 единиц секционирующей запорной арматуры большого диаметра (500 – 800 мм).

Исходя из выше изложенного, можно сделать следующие выводы:

1. Внедренные в тепловых сетях АО «Омск РТС» энергосберегающие мероприятия позволяют снизить потери тепловой энергии и теплоносителя,

получить положительный экономический эффект и повысить качество теплоснабжения потребителей.

2. Энергосберегающие мероприятия должны предусматриваться и выполняться на всех этапах подготовки и проведения ремонтных работ.

Список литературы

1. Москалев, И. Л. Повреждаемость основных узлов сетей тепло-снабжения городов Российской Федерации / И. Л. Москалев, В. В. Литвак // Известия Томского политехнического университета / Томский политехнический ун-т. – Томск. – 2015. – Т.326. №7. – С. 70 – 80.

2. Яковлев, Б. В. Повышение эффективности систем теплофикации и теплоснабжения / Б. В. Яковлев // Новости теплоснабжения. – М., 2008. – 448 с.

3. Методические указания по составлению энергетической характеристики для систем транспорта тепловой энергии по показателю «тепловые потери»: СО 153-34.20.523(3)-2003.

4. Правила организации технического обслуживания и ремонта оборудования, зданий и сооружений электростанций и сетей: СО 34.04.181-2003.

5. Проектирование и строительство тепловых сетей бесканальной прокладки из стальных труб с индустриальной тепловой изоляцией из пенополиуретана в полиэтиленовой оболочке: СП 41-105-2002.

6. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. Актуализированная редакция: СНиП 41-03-2003 (СП 61.13330.2012).

7. Тепловые сети. Актуализированная редакция: СНиП 41-02-2003 (СП 124.13330.2012).

УДК 697.34

С. В. Чичерин, В. М. Лебедев, С. В. Глухов

ВЛИЯНИЕ ДИАМЕТРА ТРУБОПРОВОДОВ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ НА ИХ НАДЕЖНОСТЬ

Работа по анализу ремонтно-эксплуатационного порядка деятельности теплоснабжающих организаций крупных городов РФ, начатая с попытки выявить зависимость параметра потока отказов от диаметра трубопровода, должна быть проведена с целью классификации дефектов, создании базы данных по повреждаемости

оборудования систем централизованного теплоснабжения и последующей разработки мер по сокращению последствий повреждений. Показаны направления продолжения работы. На основании обработки данных регистрации повреждений в течение четырех отопительных периодов магистральных тепловых сетей систем централизованного теплоснабжения г. Омска было произведено опровержение существующих ложных представлений о наличии зависимости параметра потока отказов от диаметра трубопровода. Научно обоснованное подтверждение отсутствия такой зависимости позволяет отказаться от дальнейших попыток ее поиска инженерно-техническим персоналом организаций, эксплуатирующих тепловые сети, и сосредоточить совместные усилия на других задачах.

Надежная и экономичная работа тепловых сетей, являющихся одним из звеньев системы теплоснабжения, в значительной мере зависит от рациональной организации их эксплуатации. Такая организация, в свою очередь, невозможна без создания необходимой ремонтной базы. Основной материально-технической характеристикой, определяющей обеспечение базы различными элементами (трубами, отводами, арматурой и т. д.), является диаметр таких элементов. Попытки установить зависимость между диаметром и повреждаемостью, расположить ремонтно-эксплуатационную базу предприятия вблизи головных участков большого диаметра или мест присоединения большей части потребителей могут привести к снижению эффективности системы теплоснабжения за счет невозможности своевременного устранения возникающих повреждений.

В современных системах теплоэнергоснабжения и объектах социального назначения на выбор решений по устройству сетей теплоснабжения влияет большое количество факторов.

Среди них надежность занимает особое место [1], т. к. недостаточная надежность может привести к тяжелым социально-экономическим последствиям. В последние годы Правительством страны принимаются меры по устранению негативных тенденций и улучшению положения в тепловом хозяйстве страны [2]. 27 июля 2010 г. вступил в силу Федеральный закон № 190-ФЗ «О теплоснабжении», который первым принципом государственной политики в сфере теплоснабжения определяет «обеспечение надежности теплоснабжения в соответствии с техническими регламентами».

Среди количественных показателей надежности выделяют показатели безотказности. Существует довольно много таких показателей [3], однако, как правило, применяется [4] параметр потока отказов – отношение среднего числа отказов восстанавливаемого элемента за произвольно малую его наработку к

значению этой наработки.

Применительно к системам тепловых сетей значение параметра потока отказов рассчитывается по уравнению, $1/(\text{км} \cdot \text{год})$ [5]:

$$\omega = \frac{n}{t \cdot \sum L}, \quad (1)$$

где n – количество отказов, зафиксированных на трубопроводах одного диаметра;

t – время наблюдения за теплопроводами, год;

$\sum L$ – суммарная длина подающего и обратного трубопроводов одного диаметра, км.

В теории надежности при определении общих закономерностей для восстанавливаемых и невосстанавливаемых элементов интенсивность отказов и параметр потока отказов не различаются [4].

Исходной информацией для расчета надёжности систем тепловых сетей являются значения параметров потока отказов элементов тепловых сетей. Из-за специфики систем централизованного теплоснабжения, вызванной разнящимися от города к городу климатическими условиями, неодинаковых в рамках одного населенного пункта и даже одного балансодержателя качества исходных материалов и монтажа, грунтовых условий и прочих факторов – лабораторные исследования для нахождения значений параметра потока отказов элементов тепловых сетей трудно выполнимы [6].

Остаётся единственный путь – ретроспективный анализ результатов наблюдений за тепловыми сетями в процессе их эксплуатации. Ниже будут приведены результаты статистического анализа отказов элементов системы трубопроводов магистральных тепловых сетей, проведенного в г. Омске.

В число событий для вычисления средней интегральной интенсивности отказов/повреждений в течение года включаются все зарегистрированные отказы тепловых сетей, после обнаружения которых проведена процедура ремонта (восстановления) оборудования тепловой сети в течение отопительного периода. На основании анализа журналов регистрации повреждений эксплуатационной организации была составлена табл. 1. Для выявления зависимости параметра потока отказов от диаметра трубопровода были исключены отказы, произошедшие на оборудовании тепловых сетей, вносящие статистическую ошибку в рассмотрение.

Таблица 1

Классификация отказов на теплопроводах и их оборудовании

Год	Трубопроводы	Арматура	Компенсаторы	Итого
2012	20	7	1	28
2013	18	3	2	23
2014	10	2	0	12
2015	16	0	0	16

Ниже приведены результаты анализа отказов трубопроводов. Так как повреждения фиксировались в течение отопительного периода, поэтому время наблюдения следует считать равным четырем отопительным периодам. Для города длительность отопительного периода равна 0,605 года. Следовательно, при расчёте параметра потока отказов время наблюдения будет равно $4 \cdot 0,605 = 9,68$ года.

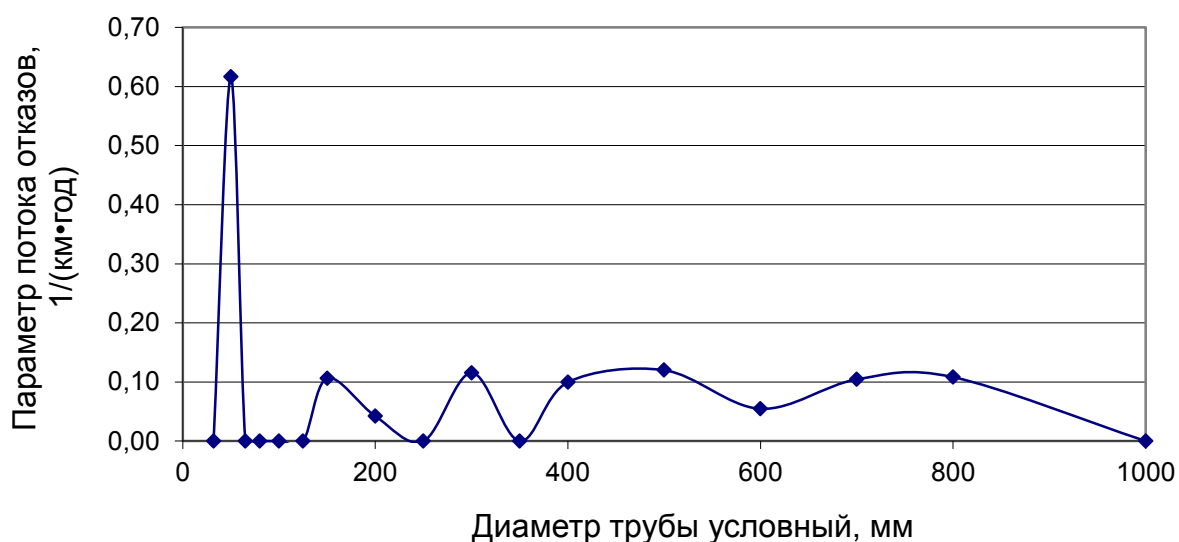


Рис. 1. Зависимость параметра потока отказов от диаметра трубопровода

Обращает на себя внимание авария, случившаяся 20 апреля 2010 года в пятом тепловом районе в историческом центре города на участке трубопровода наружным диаметром 55 мм от тепловой камеры I-B-ТК-30 до тепловой камеры I-B-ТК-32. При вскрытии теплотрассы был выявлен протяженный продольный разрыв стенки трубы, произошедший вследствие ее значительного утоньшения по причине совместного воздействия факторов наружной и внутренней коррозии. Данный трубопровод был заменен относительно недавно, в 2001 г. Таким образом, к моменту повреждения теплопровод отработал лишь около трети нормативного срока службы. Было допущено прекращение подачи теплоносителя в систему отопления шести жилых домов с сохранением ГВС по

обратному трубопроводу по открытой схеме. Принято решение установить так называемую «катушку» (заплату большого размера), ее длина составила почти четыре метра. Восстановление теплоснабжения заняло более 14 часов.

Такое происшествие, согласно общим методам обработки результатов эксперимента, должно было быть классифицировано как промах и исключено из выборки, однако намеренно оставлено авторами для того, чтобы показать большое влияние единичных случаев отказа на участках трубопроводов, протяженность которых в рассматриваемой выборке невелика (всего 670 м на балансе предприятия в данном конкретном случае), на итоговую величину параметра потока отказов.

В целом, зависимость параметра потока отказов от диаметра не проявляется, что имеет и теоретическое обоснование, так как частоту появления дефектов следует принимать пропорциональной длине трубы, а не ее площади поверхности, и мало зависящей от диаметра трубопровода, поскольку появление нескольких повреждений по длине окружности трубы - событие весьма маловероятное. Первоначально этот вывод был приведен в [5], затем подтвержден в работах других авторов, например [7], а затем и приведенными выше данными.

На основании вышеизложенного, повышение эффективности предлагается достигать путем снижения потерь теплоносителя при возникающих повреждениях. Зная нормативную величину утечек (587 т/ч) [8], установим расчетный расход горячей воды через повреждения около 14%, т. е. примерно 80 т/ч. Исходя из предположения, что обеспечение ремонтно-эксплуатационной базы каждого теплового района элементами тепловых сетей всех применяемых диаметров в равной мере, позволит снизить только потери теплоносителя (воды) за счет своевременного устранения повреждений на величину:

$$80 \cdot 5300 = 424 \text{ тыс. м}^3,$$

где 5300 ч. – средняя продолжительность отопительного периода в г. Омске.

При стоимости воды 14,5 руб./м³ дополнительная экономия средств составила бы:

$$424 \cdot 14,5 = 14,9 \text{ млн.руб.}$$

Список литературы

1. Чичерин, С. В. Повышение надежности систем централизованного теплоснабжения с использованием результатов технического диагностирования

тепловых сетей / С. В. Чичерин, В. М. Лебедев, С. В. Глухов // Промышленная энергетика. 2016. №. 11. С. 28-32

2. Глухов, С. В. Развитие систем теплоснабжения структурных подразделений ОАО «РЖД» / С. В. Глухов, А. В. Коваленко, С. В. Чичерин // Вестник ВНИИЖТ. – 2016. – №. 3. – С. 183-188.

3. ГОСТ 27.002–89 «Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения». – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 36 с.

4. Горских, А. А. Мониторинг надежности тепловых сетей: Дисс. ... канд. техн. наук. – Воронеж, 2011 - 126 с. ил.

5. Ионин, А. А. Надежность систем тепловых сетей / А. А. Ионин – М., Стройиздат, 1989.

6. Чичерин, С. В. Новая методика определения степени коррозионного поражения элементов систем трубопроводного транспорта / С. В. Чичерин // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2016. Т. 327. № 12. С. 110–115

7. Раскин, А. Я. Статистическая модель отказов инженерного оборудования тепловых сетей для информационно-телекоммуникационной системы управления аварийными ситуациями / А. Я. Раскин // Наука и современность. – 2011. – №. 8-2.

8. Обосновывающие материалы к схеме теплоснабжения города Омска до 2030 года (актуализация на 2016 год). Книга 1. Существующее положение в сфере производства, передачи и потребления тепловой энергии для целей теплоснабжения. Омск, 2015. – С. 345.

УДК 697. 341

М. Ж. Агильбаева

ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ ОТ ТЕПЛОИСТОЧНИКА КАРАГАНДИНСКОЙ ТЭЦ – 3

В статье приведены данные системы теплоснабжения от теплоисточника – Карагандинской ТЭЦ-3

Возрастающее с каждым годом потребление энергии в мире создают потребность ускорения научно-технического прогресса, который позволит

улучшить благосостояние людей планеты. Но вместе с тем возрастающие объёмы потребления энергии требуют всё больших и больших объёмов углеводородного сырья, запасы которых не безграничны. Мировой энергетический кризис 1973-1974 гг. заставил многие страны пересмотреть своё отношение к потреблению топливно-энергетических ресурсов и принять необходимые меры к снижению энергоёмкости внутреннего валового продукта (ВВП) и увеличению обеспеченности топливно-энергетическими ресурсами за счёт своих внутренних резервов и возобновляемых источников энергии. Актуальны эти вопросы и для Республики Казахстан.

Республика Казахстан принимает активные меры по формированию устойчивой модели развития экономики. В послании Главы Государства Н. А. Назарбаева утверждена концепция по переходу РК к «Зеленой экономике». Кроме того, для содействия устойчивому развитию в Центрально – Азиатском и других регионах мира инициирована программа партнерства «Зеленый мост».

Создание устойчивой модели развития экономики Казахстана невозможно без решения вопросов повышения энергоэффективности и энергосбережения. Несмотря на значительные запасы в стране энергоресурсов и развитой энергетической инфраструктуры, выбран курс на энергосбережение и повышение энергоэффективности в качестве основных приоритетов энергетической политики. Поставлена задача по снижению энергоёмкости ВВП не менее чем на 40% к 2020 году.

Для решения названной проблемы предполагается обязательное обследование предприятий различного назначения с указанием показателей энергоэффективности и разработкой по их улучшению.

В последние годы из-за увеличения потребности населения, различных промышленных предприятий и социальной сферы в дешевой тепловой энергии на фоне ухудшающейся экологической обстановки (выбросы в атмосферу продуктов сгорания химического топлива, загрязнение водоемов ядосодержащими продуктами работы промышленных предприятий) проблема повышения технико - экономических и экологических показателей тепловых электрических станций и тепловых сетей становится актуальной.

Очень остро данный вопрос проявляется на примере развитых в промышленном отношении городов Казахстана, в частности для теплоснабжения г. Караганды, что определяет актуальность этой проблемы.

Расчет гидравлического и температурного режимов тепловых сетей в сочетании с оптимизацией режимов работы теплофикационного оборудования тепловой электрической станции (подогреватели сетевой воды, конденсатные, сетевые и циркуляционные насосы) должны опираться на изучение гидравлических характеристик тепловых сетей, характеристик применяемых теплотехнических установок и правил технической эксплуатации.

Анализ технико-экономических показателей работы теплофикационного оборудования тепловых сетей в условиях ТЭЦ-3 города Караганды показал низкие теплотехнические параметры подогревателей сетевой воды, циркуляционных и сетевых насосов и низкие располагаемые напоры у потребителей.

В этих условиях реализация технических мероприятий по повышению эффективности работы Карагандинской ТЭЦ-3, в сочетании с повышением эффективности тепловых сетей является актуальной.

Карагандинская ТЭЦ-3 – тепловая электростанция, работающая на выработку электрической энергии номинальной мощностью более 600 МВт, давление и температура свежего пара, по установленным характеристикам – 13 МПа; $t = 555^{\circ}\text{C}$. Фактические параметры пара, после котла – давление 12,7 МПа; температура – 540°C .

В котельном цехе ТЭЦ-3 установлены 7 котлов БКЗ – 420 – 140, с установленными параметрами пара за котлом $t = 560^{\circ}\text{C}$, $P = 140 \text{ кгс/см}^2$ теплопроизводительностью 250 Гкал/ч, суммарной $7 \times 250 = 1750 \text{ Гкал/ч}$. Фактически тепловая мощность составляет – 1551,2 Гкал/ч.

В турбинном цехе ТЭЦ-3 установлено четыре турбоагрегата (ст. № 1,2,3 – Т – 110 – 120 – 130 – 3; ст № 4 – Т – 110 – 120 – 130 – 5), с тепловой мощностью от турбин – 692 Гкал/ч.

Располагаемое тепло ТЭЦ-3 составляет 745,88 Гкал/ч, что не позволяет качественно снабжать потребителей города Караганды тепловой энергией. Увеличение располагаемой мощности Карагандинской ТЭЦ-3 до 999 Гкал позволит устранить вынужденную срезку на температурном графике при температуре наружного воздуха -13°C .

На Карагандинской ТЭЦ-3 основными подогревателями сетевой воды являются сетевые подогреватели типа ПГС №1 – 2300 –2-8-1, ПСГ № 2 –2300-3-8-1. Пар на них поступает из теплофикационных отборов турбин (имеющих тепловую мощность одной турбины 87,5 Гкал/ч).

Теплопроизводительность отборов турбоагрегатов (ТА) на ПСГ и ПСВ-692 Гкал/ч. Теплопроизводительность ПБ и ПГВ 510 Гкал/ч. Итого расчетная теплопроизводительность теплообменного оборудования ТЭЦ – 1202 Гкал/ч.

С ТЭЦ-3 выходят два трубопровода, диаметром 1000 мм и 1200 мм, которые поступают в центральный распорядительный пункт (ЦТРП-1). ЦТРП-1, располагаемый после ТЭЦ-3, далее идёт распределение теплоносителя по трём магистралям: М-4А диаметром 1000мм, М-4 диаметром 820мм, М-3 диаметром 1200мм. На ЦТРП-1 три насоса марки 200Д-90, производительностью 594 м³/ч, напором водяного столба 35 м, диаметром рабочего колеса 500 мм; три электродвигателя (два электродвигателя типа М-280М2-4, мощностью 200 кВт, 1480 оборотов в минуту; два электродвигателя типа М-280МЛ-6, мощностью 132 Квт, 1000 оборотов в минуту). Установленная мощность 532 кВт. На ЦТРП-1 имеются два бака-аккумулятора по 2000 м³ каждый. Теплотрасса М-4 обслуживает зону «Сельмаш», теплотрасса М-3 обслуживает остальные районы Майкудука: микрорайоны 18, 19, 1 и 2 кварталы, улицы Белинского, Архитектурная, Щорса, Лихачёва. М-4А идёт транзитом через Майкудук и в П-5 соединяется с М-3. У ОН-87 с М-3 идёт отпайка М-5 на МКР. Степные 1, 2, 3, 4, МКР. 27,28/1,28/2,29, 30. У ОН-87 с М-3 идёт отпайка М-10 на Гульдер 1, 2. Далее от ОН-87 идёт М-3б до конечных потребителей улицы Ермекова. С ТЭЦ-3 выходит ещё одна трасса М-8 диаметром 800мм до Пришахтинска и Сортировки.

Требующие ремонта или замены кожухотрубные теплообменники (бойлера) могут быть реконструированы в условиях Карагандинской ТЭЦ-3, путем их замены на технически более эффективные пластинчатые теплообменные аппараты. Эксплуатация пластинчатых теплообменников, в расчете на установленную по температурному графику 150/70°С тепловую мощность, обеспечит снижение стоимости затрат на установку и эксплуатацию теплообменника в 20 – 25 раз.

Изучая принципиальную схему подключения тепломеханического оборудования существующих тепловых сетей Карагандинской ТЭЦ-3, установлено, что:

подогрев сетевой воды осуществляется подогревателями ПГС №1 – 2300 – 2-8-1, ПСГ № 2 – 2300-3-8-1, и при двухуровневом подогреве тепловая мощность теплофикационной установки 175 Гкал/ч, при пропускной способности 4500 м³/ч;

из 14 установленных на выходе с ТЭЦ-3 теплообменников ПБ (ПСВ – 500-14-23) первой и второй очереди, шесть штук в рабочем состоянии, а оставшиеся 8 требуют либо капитального ремонта (из-за засоленности и механического износа трубок бойлеров), либо реконструкции.

Поскольку по паспортным данным при давлении сетевой воды на входе в бойлера - 24 кгс/см^2 , расход составляет 1500 т/ч, при снижении давления на входе пропускная способность снижается до 1300 т/ч. Пропускная способность ПБ – 7800 т/ч (остальные 4000 т/ч приходится байпасировать с потерей температуры смеси после ПБ). Из-за гидравлического сопротивления ПБ $0,8 - 1,0 \text{ кгс/см}^2$ и гидравлических потерь трубопроводов на выходе с ТЭЦ-3 возможно поддерживать давление прямой сетевой воды $12,0 - 13,5 \text{ кгс/см}^2$, при циркуляции не более 11500 – 12000 т/ч.

Сравнение теплотехнических показателей существующих на ТЭЦ-3 ПБ (ПСВ – 500 – 14 – 23) и технически более эффективных пластинчатых теплообменников (СВ – 76), в расчете на располагаемую тепловую мощность ТЭЦ-3 (745,88 Гкал/ч, по температурному графику 110/70; 734 Гкал/ч, по графику теплосетей 150/70), показывает, что реконструкция бойлеров путем их замены на пластинчатые теплообменники дает увеличение коэффициента теплопередачи в 7 – 8 раз, снижение металлоемкости в 20 – 25 раз. Поэтому, достижение номинальной пропускной способности теплообменников на выходе из теплосети – 13381 т/ч (располагаемое тепло ТЭЦ 745,88 Гкал/ч, присоединенная нагрузка – 764,7 Гкал/ч), можно обеспечить техническими мероприятиями по замене бойлеров (ПБ) на теплообменники пластинчатого типа.

Из анализа зависимости расчетной тепловой мощности от расчетной циркуляции по температурному графику 150/70°C, при существующей гидравлической схеме теплосетей КарТЭЦ-3 установлено, что график 150/70°C выполняется при температуре наружного воздуха $t = - 32 \text{ }^\circ\text{C}$, если тепловая мощность станции составит 928 Гкал.

Список литературы

1. Правила техники безопасности при эксплуатации тепломеханического оборудования электростанций и тепловых сетей. / Алматы, 1995г.
2. Правила технической эксплуатации электрических станций и тепловых сетей, 1982 г.
3. Сканави, А. Н. Конструирование и расчет систем водяного и воздушного

отопления зданий / А. Н. Сканави – 2-е изд. М.: Стройиздат, 1983, 304с.

4. Типовая инструкция по технической эксплуатации тепловых сетей коммунального теплоснабжения.

5. Инструкция по эксплуатации оборудования ТЦ ТЭЦ-3, 28 с.

6. СНиП РК 4.02-42-2006 «Отопление, вентиляция и кондиционирование».

УДК 735.29.(32)

А. Д. Семенов

МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ППУ ИЗОЛЯЦИИ

Представлена история происхождения пенополиуретана, его применения. Рассмотрены основные недостатки, выявленные при эксплуатации труб с применением этой изоляции. На основе анализа, предложен метод повышения надежности пенополиуретановых труб.

Полиамиды – пластмассы на основе линейных синтетических высокомолекулярных соединений, содержащих в основной цепи амидные группы – CONH. Исследования по синтезу полиамидов проводились в 1930-х года американским ученым – химиком Уоллесом Карозерсом.

Полимеры полиуретаны были изобретены при создании материалов подобных полиаидам концерном «I.G.Farbenindustrie» – (ФРГ).

Первый полиуретановый жёсткий пенопласт был получен в начале 1937 года Отто Байером путем взаимодействия диизоцианатов с разными гидроксилсодержащими соединениями (полиолами) за счет синтеза полиуретановых эластомеров. В годы войны Германия испытывала дефицит стали и натурального каучука, и главной целью этого периода являлась крайняя необходимость заменить чем-нибудь эти виды стратегического сырья. Стоит отметить, что получение этого вида полимеров стало необходимо именно для военно-промышленного комплекса разных стран, для его потребностей. Полиуретаны сочетают в себе такие качества, как высокая прочность, вибростойкость и к тому же малый вес, именно поэтому исследования сразу показали его эффективность использования в авиационной промышленности, где полиуретановые пенопласты начали использоваться в виде среднего слоя в тройном слое сборных конструкций. При употреблении покрытий из полиуретана для поверхностей самолётов довольно заметно скорость их увеличилась, а вот сами покрытия имели высокие показатели на

атмосферостойкость, водостойкость и влияние жидкого топлива. В связи с этим в Германии в 1944 году организовали выпуск простых и сложных полиэфиров в больших промышленных объемах.

Военное ведомство США, после того как в 1945 году стало располагать информацией о развитии этого направления химической промышленности отправило в Германию группу американских специалистов для того, чтобы они изучили технические достижения в сфере изготовления пластических масс. В том же 1945-м в журналах Chemical and Engineering News и Modern Plastics была опубликована статья Г.Клайна и заметка о способах получения, сферах применения, технических и экономических показателях полиуретановых механизмов. В скором времени после конца Второй Мировой войны в США организовали крупные исследования и наладили довольно крупное промышленное изготовление полиуретанов.

Переработка данной группы полимеров происходит почти всеми ныне существующими технологическими способами: прессованием, экструзией, заливкой и литьём. Сегодня на базе полиуретанов получают различные типы материалов-полимеров и изделий: армированные, наполненные ламинированные, вспененные, в виде плит, листовые, профилей, блоков, полуцилиндров, цилиндров и сегментов скорлуп, заполненных полостей при тепловой изоляции трубопроводов по технологии «труба в трубе», сэндвич-панелей и просто панелей, пленок, волокон и многих других. Изготовки из полиуретанов могут быть прозрачными, окрашенными в различные цвета, изготавливаемыми в различных формах, с различной прочностью, плотностью и иными показателями, и дизайнерскими решениями.

Сегодня пенополиуретан активно используется во многих сферах – космической, военной, в промышленности и быту.

Пенополиуретановая изоляция (ППУ – изоляция) труб – это нанесение предварительно приготовленной смеси пенополиуретана на трубы, с целью получения дополнительных изоляционных и прочностных характеристик. Изоляция ППУ выполняется методом использования скорлуп (рис. 1а), либо по технологии «труба в трубе» (рис. 1б), который представляет собой заливку смеси под защитную оболочку. Стоит отметить, что второй метод является более экономичным вариантом, следовательно, в производстве чаще используют его.

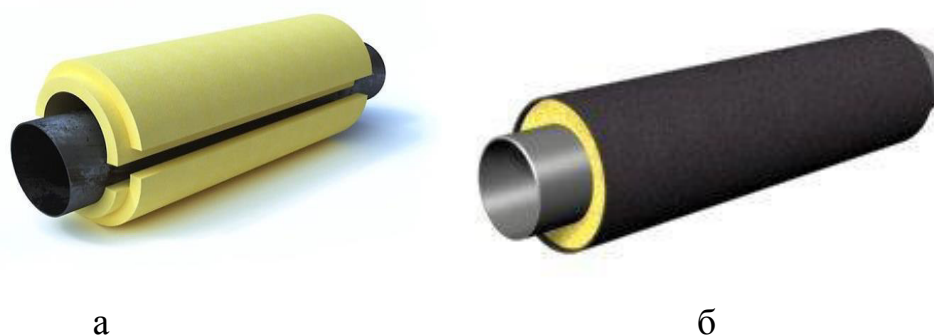


Рис. 1. Методы ППУ изоляции труб: а – скорлупа, б – труба в трубе

Трубы в пенополиуретановой изоляции представляют собой монолитную конструкцию, которая состоит из стальной трубы, теплоизоляционного слоя, сделанного из пенополиуретана и защитной оболочки. При эксплуатации труб под землей, в качестве защитной оболочки применяется слой из полиэтилена, а для воздушной прокладки – оцинкованная сталь.

В России ППУ изоляцию начали использовать благодаря Европейским соседям, закупив технологии и используя их на свой лад. На территории нашей страны особые климатические условия и свои режимы снабжения тепловых сетей. Отечественные предприятия не обладают необходимым капиталом, а также достаточно подготовленными рабочими для строительно-монтажных работ. Используя этот метод, наши специалисты естественно пытаются все упростить и сэкономить, небрежно выполняя хранение и перевозку труб. Следовательно, появилось огромное множество самодельных аппаратов по изготовлению пенополиуретановых смесей. Соответственно, продукция получается низкого качества.

При попадании влаги под герметичный слой стыка, материал принимает влагу и происходит гидролиз изоляции, в результате чего образуются коррозионно-активные вещества, называемые растворами карбоновых кислот. Происходит съезживание и отслоение структуры материала ППУ от внутренней и наружной поверхностей. После чего происходит заржавление металла, начиная от полугода эксплуатации. Также следует упомянуть о качестве заделываемых на месте соединения труб стыков, которое оставляет желать лучшего. Стыки бывают негерметичны, из-за чего происходят непредвиденные тепловые потери и соответственно гниение как изоляции так и трубы, которое происходит с большой скоростью на сотни метров.

Выход есть: он представляет собой нанесение специального

лакокрасочного и антикоррозийного покрытия на поверхность стальной трубы, что будет замедлять процесс коррозии при негерметичной внешней оболочке.

Грунтовка антикоррозийная является однокомпонентной грунтовкой на алкидном лаке с модификатором ржавчины и спецкомпонентами, проникая в микротрещины и поры металла, останавливает начавшийся процесс коррозии и препятствует его распространению по поверхности, образуя плотные нерастворимые комплексы, прочно связывающие ее с поверхностью металла. Нанесение защитного покрытия показано на рис. 2. Применяется в металлоизделиях, трубопроводах, коммуникации из сталей, чугуна, легких сплавов, работающих во всех природных средах при температуре до 230 °С. Цвет покрытия от темно-серого до темно коричневого, включая черный. Срок службы такого покрытия колеблется от 15 до 25 лет.



Рис. 2. Нанесение антикоррозийного грунта методом распыления

Этот метод позволит избежать несколько важных проблем:

- при попадании влаги на изоляционный слой, негативные воздействия на трубу будут значительно менее слабыми и менее протяженными по расстоянию;
- способность отложить ремонт участка на время при невозможности отключения и бесперебойной работы сети в зимнее время;
- предотвращение развития кислотной среды внутри изоляции и соответственно развитию коррозии на самой трубе;
- препятствие появления коррозии (дополнительный уровень) на металлической трубе.

Использование атмосферной грунтовки может исправить вышеперечисленные изъяны эксплуатации. Основным его назначением является препятствие влаги и кислотной среды, представляя собой некую пленку. А под ней, пленкой происходит защита от коррозии. Свойства грунтовки состоят в его проникающей способности попадать в микротрещины и части металла, предотвращая начало процесса коррозии.

Грунтовку удобно хранить, перевозить и она является безотходной. Нанесение на поверхность металлической трубы осуществляется при помощи кисти, валика, распылителя. Также данный материал ложится на необработанную и ржавую поверхность, что делает его удобным для использования на локальных местах зачистки аварийных участков труб или непосредственно на производстве.

Существуют также другие материалы, рекомендуемые для различных условий: в легких условиях эксплуатации – масляные краски; в средних – эмали типа ПФ-115; в жестких – эмали и лаки ХВ-110, ЭП-140, ЭП-773, ОС-74, ХС-10.

Ниже расположена табл. 1 в которой приведено сравнение срока службы нескольких видов теплоизолированных труб.

Таблица 1

Период эксплуатации изолированных труб до появления коррозии

Труба изолированная	Время эксплуатации до появления следов коррозии, год	
	Без покрытия труб	С покрытием труб
ППУ	20	25
ППМ	15	20
Мин. вата	6	10

По результатам таблицы становится ясно, что грунтовка, нанесенная на стальную трубу, благоприятно сказывается на ее антикоррозионных свойствах, тем самым повышаются защитные свойства и долговечность трубы. Лидирующими оказались трубы в ППУ изоляции. Без нанесения покрытия они имеют наилучшие показатели и после грунтовки демонстрируют себя лучше других. Из соображений надежности и долговечности эксплуатации, внедрение предложенного метода непосредственно при производстве труб в ППУ изоляции, сократило бы дальнейшие расходы по содержанию тепловых сетей.

Список литературы

1. СП 41-105-2002. Система нормативных документов при строительстве / Проектирование и строительство тепловых сетей бесканальной прокладки из стальных труб с индивидуальной тепловой изоляцией из пенополиуретана в полиэтиленовой оболочке.
2. Мустафин, Ф. М. Защита трубопровода от коррозии: учеб. пособие для вузов / Ф. М. Мустафин – СПб.: Недра. 2008, 620 с.
3. Герасименко, А. А. Защита от коррозии, старения и биоповреждений машин, оборудования и сооружений: справочник / А. А. Герасименко – 1987, 688 с.
4. Дринберг, А. С. Антикоррозийные грунтовки / А. С. Дринберг, Э. Ф. Ицко, Т. В. Калинская – М., 2008, 168 с.
5. Оптимизация затрат при проектировании и эксплуатации тепловых схем и систем теплоснабжения потребителей / В. Р. Ведрученко и др. // Промышленная энергетика. М. – 2013. – № 2. – С. 23-27.

УКД 629.1

В. К. Гаак, М. В. Кокшаров

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЫРАБОТКИ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

В России ежегодно производится более 41 000 млн. Гкал тепловой энергии из них только 36% вырабатывается комбинированным способом. Для повышения эффективности выработки тепловой энергии в статье предложены 5 способов реконструкции предприятий, поставляющих тепло населению и промышленным предприятиям.

Теплоэнергетические объекты современной России были построены, в основном, в 1960-1990 гг. на передовом научно-техническом уровне того времени. Производство тепла основывалось на двух типовых способах: на отопительных котельных и на паротурбинных теплоэлектроцентралях (ТЭЦ). Комбинированное производство тепловой и электрической энергии на ТЭЦ позволяет экономить до 20% топлива для целей энергоснабжения по сравнению с отдельной выработкой тепловой и электрической энергии. В настоящее время в стране для целей теплоснабжения ежегодно производится более

41 000 млн. Гкал тепловой энергии, из них только 36% (около 14 000 млн. Гкал) вырабатывается комбинированным способом с использованием эффекта теплофикации /1/. Производство более половины тепла на котельных позволяет рассматривать варианты по снижению затрат на топливо для получение тепловой энергии.

В настоящее время в России используются различные способы снижения затрат топлива на производство тепловой энергии, основные из них:

- модернизация паровых котельных с переводом их работы с использованием парогазовых установок (ПГУ);

- реконструкция ТЭЦ с исключением из работы пиковых водогрейных котлов с заменой их на пиковые бойлерные установки, работающие на отборном паре паровых турбин;

- надстройка водогрейных котлов газовыми турбинами (ГТУ);

- строительство газопоршневых установок на отопительных котельных;

- консервация теплофикационных котельных в межотопительный сезон (летом) с обеспечением горячего водоснабжения от смежных сетей ТЭЦ;

- совершенствование структуры систем теплоснабжения населенных пунктов.

Решение о способе реконструкции существующих теплоисточников определяется схемой теплоснабжения населенного пункта, где разработчик схемы определяет перспективные объемы потребления тепла с учетом развития региона, наличие топливных ресурсов, потребности в электрической энергии и экономическую эффективность варианта реконструкции.

1. Реконструкция паровых котельных с переводом их работы в режим ПГУ.

Использование парогазового режима работы для производства электрической и тепловой энергии является наиболее эффективным способом модернизации существующих котельных. Целесообразно использовать данный метод на теплоисточниках, имеющих оборудование с выработанным ресурсом работы или при модернизации ТЭЦ, работающих на газе с низким КПД. Наиболее выгодным вариантом использования ПГУ, является строительство отдельных блоков в помещении имеющее облегченные конструкции и расположенные на территории существующего теплоисточника с использованием его коммуникаций и тепловых сетей [2]. Блоки ПГУ за счет использования бинарного цикла имеют высокие показатели эффективности: КПД достигает 50-56%, в зависимости от применяемого оборудования.

Парогазовые установки включают в себя:

дожимную компрессорную станцию (при необходимости);
газовую турбину (одну или две);
котел утилизатор, использующий для получения пара тепло отходящих газов газовой турбины;
паровую теплофикационную турбину.

Опыт реконструкции Омской ТЭЦ-3 с установкой ПГУ-90 позволил снизить расход топлива на выработку электроэнергии с 365 г/кВт ч до 205-210 г/кВт ч, а на отпуск тепловой энергии с 165-170 кг/Гкал до 105-120 кг/Гкал [4].

Применение ПГУ для получения тепловой и электрической энергии позволяет снизить себестоимость энергии, вырабатываемой на дорогом природном газе и обеспечить продажу электроэнергии на рынке с конкурирующими угольными станциями.

2. Надстройка водогрейных котлов газотурбинными установками (ГТУ).

Учитывая, что большинство отопительных котельных в г. Омске работают на природном газе, то целесообразно для использования эффекта комбинированной выработки энергии провести их реконструкцию в режиме газотурбинных ТЭЦ, где газы после ГТУ сбрасываются в паровой или водогрейный котел.

При выборе мощности ГТУ необходимо учитывать объемы летнего потребления тепловой энергии от теплоисточника на горячее водоснабжение. Объем тепла, получаемый от теплофикационной турбины должен быть не менее объема тепла, отпускаемого в летний, что позволит обеспечить работу ПГУ с максимальным КПД в течение всего года.

Котельные агрегаты, использующие газ от ГТУ можно выполнять по схеме: как котел-утилизатор или как котел с дополнительными горелками сжигания природного газа, которые обеспечивают постоянную нагрузку агрегата. КПД установки без дожига топлива будет составлять 44-46%, а с дожигом топлива превышать 37-38% [2].

Если график отпуска тепла в течении года отпускаемого данным теплоисточником значительно меняется, то больший эффект от реконструкции будет достигнут на промышленных котельных, где имеется постоянный паровой потребитель по схеме ГТУ-котел с дожигом газа.

Опыт разработки ГТУ-ТЭЦ для нового строительства показывают, что данные электростанции имеют удельный расход топлива на выработку тепловой и электрической энергии близкий к парогазовым ТЭЦ, но по капитальным затратам находятся в выгодном положении. Данные установки

проще по устройству и эксплуатации оборудования. При разработке данной схемы реконструкции необходимо учитывать минимальную мощность потребления тепла, которая обеспечит получение максимального эффекта при комбинированной выработке тепловой энергии, на установке, состоящей из газовой турбины и котла утилизатора для подогрева сетевой воды.

Использование отходящих газов от ГТУ возможно для нагрева сетевой воды в газовых подогревателях. В случаях снижения потребления тепла отходящие газы газовых турбин сбрасываются в атмосферу и установки работают в режиме выработки электрической энергии.

Расход топлива на ГТУ – ТЭЦ для выработки электроэнергии достигает 336,0 г/кВт ч, для отпуска тепла 150-160,0 кг/Гкал [3]. Эффективность использования данных установок позволяет поддерживать стоимость электроэнергии на конкурентном рынке.

3. Реконструкция ТЭЦ с заменой пиковых водогрейных котлов пиковыми бойлерами для подогрева сетевой воды.

Согласно типовых проектов работающих ТЭЦ обеспечение пиковых нагрузок теплоснабжения в зимний период предусматривается установка пиковых водогрейных котлов типа ПТВМ или КГВМ. Включение в работу пиковых котлов, как правило, работающих на мазуте, производится в период понижения температуры наружного воздуха ниже – 20°C для подогрева сетевой воды выше 110-115°C. В последнее время нефтехимические комбинаты повышают эффективность переработки нефти, что значительно снизило производство мазута и повысила его стоимость. Стоимость тепла, получаемого от мазута, превышает стоимость тепла получаемого от сжигания угля в несколько раз.

В настоящее время пиковые водогрейные котлы имеют значительный износ, т. к. при включении их в работу в ограниченный период зимнего максимума и длительный период консервации происходит ускоренная коррозия поверхностей нагрева агрегатов и снижение надежности. Для контроля за оборудованием пиковых котлов в период консервации необходимо обеспечить присутствие эксплуатационного и ремонтного персонала, а продукцию в этот период котельный агрегат не производит. Согласно графика периодичности проведения капитальных и текущих ремонтов ремонт котлов проводится через 4-5 лет, а наработка котла в год составляет 500-800 часов. Себестоимость получаемого тепла от пиковых котлов достигает 3000-5000 руб./Гкал. Получение дополнительного тепла в пиковом режиме от бойлерных установок

позволяет повысить коэффициент теплофикации при использовании тепла отборов турбин.

Применение пиковых бойлеров использующих пар нерегулируемых отборов среднего и высокого давления паровых турбин как источник тепла для подогрева сетевой воды позволяет значительно снизить расход топлива на выработку тепловой энергии. Параметры греющего пара пиковых бойлеров должны обеспечить нагрев сетевой воды до температуры, требуемой графиком сетевой воды для данного населенного пункта. Эффективность использования пара отбора турбины повышается за счет выработки электрической энергии им в проточной части цилиндров высокого и среднего давления турбины.

Такие решения по реконструкции ТЭЦ возможны при наличии избытка пара промышленных отборов турбин. Получение тепловой энергии комбинированным способом за счет пара из отборов турбины позволяет дополнительно вырабатывать тепловую и электрическую в период покрытия пиков похолодания наружного воздуха.

4. Строительство газопоршневых установок на отопительных котельных.

В настоящее время продажа электрической энергии производится на рынке второй зоны продаж России и цена ее постоянно меняется. В отдельные периоды стоимость энергии возрастает на 15-20%, что вынуждает ресурсоснабжающие организации брать кредиты в банках для приобретения электрической энергии на собственные нужды, т.к. тариф на тепло регулируется 1 раз в год с фиксированной ценой затраченной электроэнергии. Для получения электрической энергии для собственных нужд котельной возможна установка газопоршневых установок (ГПУ) небольшой мощностью имеющих КПД 40-43%, что выше, чем на паротурбинных ТЭЦ.

Газопоршневые установки обладают высокой маневренностью (время запуска 3-5 минут), компактны и позволяют их использовать в течение 7000-8000 часов в год. Монтаж установок производится в отдельных помещениях контейнерного типа и стоимость 1 кВт мощности составляет 500-800 долларов, что вдвое ниже чем строительство ПГУ. Для обслуживания установки не требуется большого количества персонала.

Себестоимость электрической энергии выработанной на ГПУ типа «CATERPILLER» серии G 3520 по данным ООО «Электротехнический комплекс» г. Омск не превышает 1 руб/кВт ч. [5]. При выработке электроэнергии на ГПУ мощностью 2 МВт получается дополнительное тепло

от охлаждения двигателя до 1,9 Гкал, которое передается сетевой воде для отопления. В летний период предприятие имеет возможность продавать излишки вырабатываемой электрической энергии по прямым договорам по фиксированным ценам соседним предприятиям, что позволяет получать дополнительный доход.

5. Совершенствование системы теплоснабжения населенных микрорайонов.

Существующие системы теплоснабжения микрорайонов населенных пунктов, как правило, обеспечиваются теплом в период всего года от определенного теплоисточника. Учитывая разность тарифов на тепло в пределах одного населенного пункта и рыночные условия, теплоснабжающая организация может использовать различные схемы производства и передачи тепловой энергии потребителю.

5.1. Консервация теплофикационной котельной в межотопительный сезон (летом) с обеспечением горячего водоразбора от смежных сетей ТЭЦ.

Схемы теплоснабжения населенных пунктов разработаны с условием получения тепла потребителем от котельной имеющей большой тариф в течении всего года, что не выгодно потребителю. Для обеспечения выполнения мероприятий по увеличению доли комбинированной выработки энергии за счет совершенствования тепловых схем теплосетей необходимо принимать режимные решения. Значительные резервы в этом направлении можно получить за счет рациональной поставки тепла потребителю от различных теплоисточников. В городе Омске имеются крупные поставщики тепла: АО «Омск РТС» от ТЭЦ 3, 4, 5, МП «Тепловая компания» от котельной на 4-й Северной 180 мощностью 106,4 Гкал/ч, ОАО «Омское ПО «Иртыш» от котельной мощностью 143,0 Гкал/ч, которые имеют тарифы:

АО «Омск РТС» - 1116,7 руб/Гкал;

МП «Тепловая компания» - 1693,5 руб/Гкал;

ОАО «Омское ПО «Иртыш» - 1650,76 руб/Гкал.

Тепловые сети данных предприятий в некоторых микрорайонах города проходят на смежных территориях на небольшом расстоянии друг от друга, поэтому в летний период возможна организация передачи сетевой воды для горячего водоразбора через смонтированные перемычки от сетей АО «Омск РТС», а оборудование котельных перевести на консервацию. Тепло АО «Омск РТС» поступает от ТЭЦ выработанное комбинированным способом позволяющее экономить расход топлива на нагрев воды до 20%. Примером

такой схемы работы в городе Омске является перевод на летнюю консервацию ТЭЦ-2 и подача горячей воды потребителю от ТЭЦ-5, что позволяет экономить топливо на 80 млн. руб [4].

5.2. Совершенствование режима работы различных теплоисточников в отопительный период.

Для использования эффекта разности тарифов тепловой энергии от различных теплоисточников необходимо рассматривать совместную схему работы ТЭЦ и котельных имеющих одинаковый температурный график режима тепловых сетей. Учитывая, что период пиковых нагрузок в зимний период длится менее месяца, то целесообразно предусмотреть режим с отпуском тепла от ТЭЦ всем потребителям в период средних и высоких температур наружного воздуха, а с наступлением аномальных отрицательных температур наружного воздуха для подогрева сетевой воды дополнительно подключать отопительную котельную, ранее работавшую в данном микрорайоне.

Эффект от получения тепловой энергии комбинированным способом позволяет в течении длительного времени в отопительный сезон и летний период экономить затраты на топливо для подогрева сетевой воды.

Выводы: реализация предлагаемых вариантов реконструкции котельных позволяет экономить затраты топлива на выработку тепловой и электрической энергии, уменьшить выбросы загрязняющих веществ в атмосферу и самое главное обеспечивает снижение роста тарифа на отпуск тепла.

Список литературы

1. Отчет «О ситуации с теплоснабжением в Российской Федерации». Фонд энергетического развития. 2016 г. Москва.
2. Андрюшенко, А. И. Комбинированные системы теплоснабжения / А. И. Андрюшенко // Теплоэнергетика. – 1997. – №5. С. 2–6.
3. Шкода, А. Н. Совершенствование технологий комбинированного теплоснабжения / А. Н. Шкода // Электрические электростанции. 2008. С. 16-20.
4. Годовой отчет за 2015 г. АО «ТГК-11».
5. Бизнес план ООО «Электротехнический комплекс». г. Омск по установке газопоршневой установке.

А. М. Парамонов, Е. М. Резанов

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ЭКОНОМИЧНОСТИ РАБОТЫ НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ С РАДИАЦИОННЫМИ ТРУБАМИ

Разработан метод, алгоритм и программное обеспечение для определения оптимальной температуры подогрева воздуха, идущего для горения топлива в радиационных трубах термической печи. Полученные результаты способствуют повышению эффективности работы термических печей, снижению удельного расход топлива и времени нагрева металла, повышению коэффициента полезного действия печи.

В машиностроительной промышленности для термообработки изделий широкое распространение получили нагревательные печи с радиационными трубами.

Проводимые исследования по эффективности тепловой работы печных агрегатов относятся в основном к печам производства авиационной промышленности. Анализ термических печей с радиационными трубами на предприятиях железнодорожного транспорта проводилось недостаточно. Это является сдерживающим фактором повышения эффективности их экономичности.

Повышение эффективности работы термических печей с радиационными трубами обеспечивается в первую очередь за счет использования теплоты уходящих газов для подогрева воздуха, подаваемого на горение топлива, так как это дает возможность значительно повысить коэффициент полезного действия печей и сократить удельный расход топлива на тепловую обработку изделий. Но при этом увеличиваются капитальные вложения и эксплуатационные расходы на регенеративные устройства. Вследствие этого актуальна задача определения и выбора оптимальной температуры подогрева воздуха в рекуператоре нагревательной печи.

Определение экономически наиболее выгодной температуры подогрева воздуха, идущего на горение топлива в радиационных трубах термической печи, производится исходя из условия обеспечения минимальных дисконтированных затрат на рекуператор и топливо, необходимого для

тепловой обработки изделий. Выразив расход топлива на тепловую обработку изделий из уравнения теплового баланса рабочего пространства термической печи и площадь теплопередающей поверхности рекуператора из уравнения теплообмена, как функции от температуры воздуха, подаваемого для горения топлива в радиационных трубах, получено расчетное уравнение для нахождения оптимальной температуры подогрева воздуха на основе классического метода решения задач оптимизации и результатов работы [1]:

$$\frac{dZ_p}{dt''_B} = C_T \frac{dB_p}{dt''_B} + C_p \frac{dH_p}{dt''_B} = 0, \quad (1)$$

где Z_p – суммарные годовые дисконтированные затраты на рекуператор и топливо, р./год; B_p , C_T – часовой расход и годовая стоимость топлива, $m^3/ч$, (р./ m^3)·(ч/год); C_p – годовая стоимость в сооружение 1 m^2 площади теплопередающей поверхности рекуператора, р./(m^2 ·год); H_p – площадь теплопередающей поверхности рекуператора, m^2 ; t''_B – температура подогрева воздуха в рекуператоре, $^{\circ}C$.

Решение уравнения (1) представляется в виде [2]:

$$at''_B{}^2 + bt''_B + d = 0, \quad (2)$$

$$a = C_p \eta_B C_B''^2 V_B c_2 - K \varepsilon_{\Delta t} C_B'' C_T c_2^2; \quad (3)$$

$$b = 2(K \varepsilon_{\Delta t} C_T c_1 - C_p \eta_B C_B' t'_B V_B) C_B'' c_2; \quad (4)$$

$$d = C_p \eta_B (C_B'' b_1 c_1 + C_B' t'_B (C_B'' V_B c_1 - c_2 b_1)) - K \varepsilon_{\Delta t} C_B'' C_T c_1^2; \quad (5)$$

$$b_1 = Q_H^p (1 - R_2) + C_T' t'_T - C_T t_T V_T - V_T R_1 - V_B C_B'' \delta t_B; \quad (6)$$

$$c_1 = (A \frac{C_T'}{C_T''} + B) t'_T + (\frac{V_B \eta_B C_B'}{m V_T \eta_T C_T'' (1 + \Theta)} - 1) A t'_B; \quad (7)$$

$$c_2 = \frac{A V_B \eta_B C_B''}{m V_T \eta_T C_T'' (1 + \Theta)} + B; \quad (8)$$

$$t'_T = \frac{C_T t_T + \Theta C_B' t'_B}{(1 + \Theta) C_T'} - \delta t_T; \quad (9)$$

$$t''_T = \frac{C_T'}{C_T''} t'_T - \frac{V_B \eta_B (C_B'' t'_B - C_B' t'_B)}{m V_T \eta_T C_T'' (1 + \Theta)}; \quad (10)$$

где Q_H^p – низшая теплота сгорания топлива, Дж/ m^3 ; C_T' , t'_T – соответственно средняя теплоемкость и температура топлива, Дж/($m^3 \cdot K$), $^{\circ}C$; t_T , C_T – соответственно температура и средняя теплоемкость уходящих газов на

выходе из радиационных труб термической печи, °С, Дж/(м³·К); V_r – количество дымовых газов, приходящееся на единицу количества сжигаемого в радиационных трубах топлива, м³/м³; R – теплота от химического недожога топлива в уходящих дымовых газах, Дж/м³; R_2 – доля потерь тепла от механической неполноты сгорания топлива; V_b – действительное количество воздуха, идущего для сжигания единицы количества топлива, м³/м³; δt_b – падение температуры воздуха на пути от рекуператора до горелочных устройств печи вследствие потерь теплоты в окружающую среду, °С; C''_b – средняя теплоемкость воздуха на выходе из рекуператора, Дж/(м³·К); η_b – коэффициент учета потерь воздуха в рекуператоре; C'_b, t'_b – средняя теплоемкость и температура воздуха на входе в рекуператор, Дж/(м³·К); K – коэффициент теплопередачи в рекуператоре, Вт/(м²·К); $\varepsilon_{\Delta t}$ – поправочный коэффициент при сложной схеме движения теплоносителей в рекуператоре; t'_r, t''_r – температура газов на входе и выходе из рекуператора, °С; A и B – коэффициенты зависящие от соотношения $(t''_r - t'_b)/(t'_r - t''_b)$; C'_r, C''_r – средние теплоемкости газов на входе и выходе из рекуператора, Дж/(м³·К); m – коэффициент, учитывающий выбивание продуктов сгорания из радиационной трубы; η_r – коэффициент учета потерь тепла через футеровку рекуператора в окружающую среду; Θ – степень разбавления воздухом уходящих газов на пути от радиационных труб до рекуператора.

Разработанный алгоритм определения оптимальной температуры подогрева воздуха был апробирован на проходной термической печи непрерывного действия «BIRLEC» R18 с радиационными трубами, предназначенной для газовой нитроцементации и цементации узлов и деталей двигателей. Печь состоит из четырех тепловых зон: первая зона – это зона нагрева металла до 870 °С; вторая и третья зоны – зоны цементации; четвертая зона – стабилизирующая зона, обеспечивающая равномерное температурное поле металла перед его закалкой. Производительность действующего печного агрегата составляет 400 кг/ч при сжигании природного газа с низшей теплотой сгорания 34,5 МДж/м³, температура подогрева воздуха 100 °С, расход газа 4,896 м³/ч, коэффициент полезного действия 16,8 %, время нагрева металла в первой зоне печи 3 ч.

Выполненные численные исследования с использованием предложенного алгоритма на термической печи показали следующие результаты: оптимальная температура подогрева воздуха в рекуператоре составила $t''_{b, \text{опт}} = 428$ °С при

минимальных дисконтированных затратах $З_p^{\min} = 71900$ р./год, расход газа $3,024$ м³/ч и поверхность нагрева рекуператора $0,3$ м², коэффициент полезного действия $28,3$ % и время нагрева металла в первой зоне в печи $2,72$ ч.

На рис. 1–3 представлены зависимости дисконтированных затрат по рекуператору и топливу $З_p$, расхода топлива $В_p$, площади теплопередающей поверхности рекуператора $Н_p$, коэффициента полезного действия термической печи, времени нагрева металла от температуры подогрева воздуха, идущего для горения топлива в радиационную трубу термической печи t_B'' .

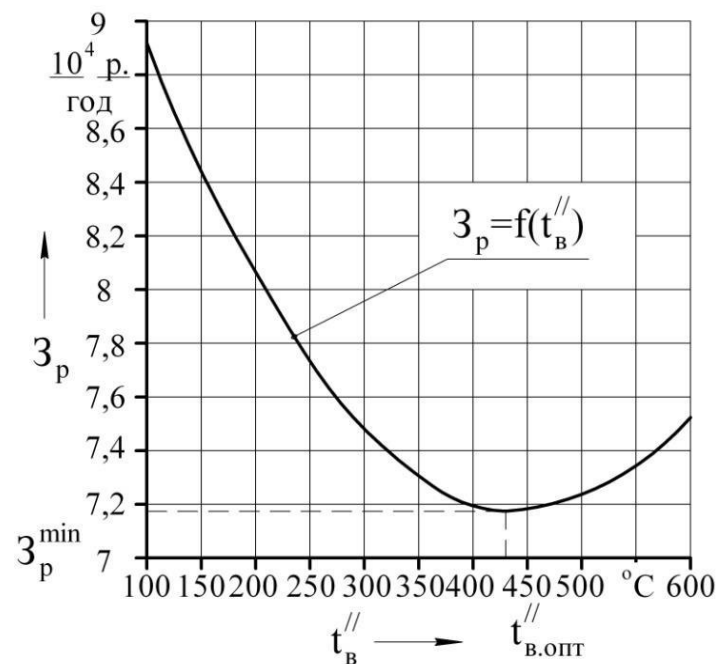


Рис. 1. Зависимость $З_p$ от t_B''

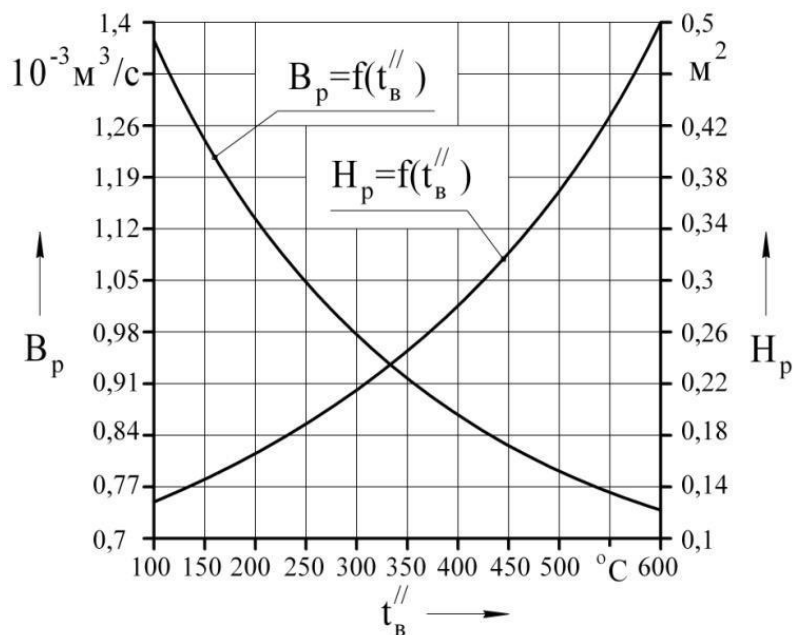


Рис. 2. Зависимости $В_p$, $Н_p$ от t_B''

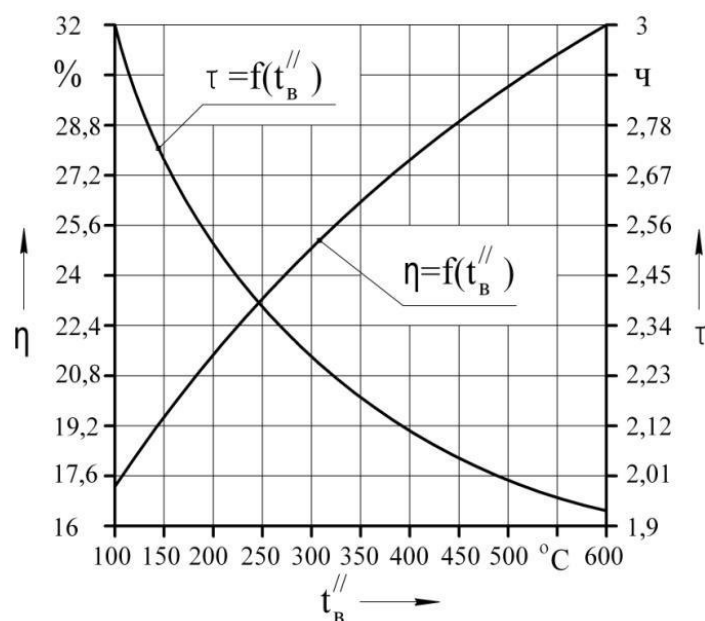


Рис. 3. Зависимости τ , η от t_B''

Результаты расчетов показывают, что повышается коэффициент полезного действия термической печи с радиационными трубами, а также снижается время нагрева металла и удельный расход топлива на тепловую обработку изделий.

Применение оптимизации температуры подогрева воздуха на выходе из рекуператора, обеспечивает нахождение наиболее выгодных технических решений, для достижения максимального технико-экономического эффекта при наименьших затратах.

Список литературы

1. Парамонов, А. М. Повышение тепловой эффективности и экономичности работы нагревательных печей / А. М. Парамонов, В. В. Крайнов – М.: Спутник, 2006. – 226 с.
2. Определение оптимальной температуры подогрева воздуха, необходимого для горения топлива в печах с радиационными трубами / Е. М. Резанов и др. // Промышленная энергетика. М. – 2011. – № 2. – С. 35-38.

Е. М. Резанов, О. А. Мотовилова, Т. А. Мотовилова

К ВОПРОСУ ЭФФЕКТИВНОГО ВЫБОРА РЕЗЕРВНОЙ СИСТЕМЫ ТОПЛИВОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ КОТЕЛЬНОЙ

Представлено описание и проведен анализ использования топливных хозяйств для промышленной котельной Сургутского района России. Предложен эффективный выбор резервной системы топливоснабжения.

Согласно СП 89.13330.2012 «Котельные установки», виды основного, резервного и аварийного топлива, а также необходимость резервного или аварийного топлива для котельных устанавливаются с учетом категории котельной, исходя из местных условий эксплуатации и по согласованию с топливоснабжающими организациями [1].

Существует огромное количество видов топлива, однако, основными энергетическими источниками на протяжении долгих лет являются нефть, уголь и газ. Большим потенциалом обладают запасы ядерного топлива, но его широкое применение невозможно, в связи с высокими требованиями к безопасности и утилизации отходов.

На котельных или промышленных электростанциях в качестве резервного топлива могут применять жидкое, твердое или газообразное топливо.

Для Сургутского района применение твердого топлива (угля) не рационально, так как ближайшие месторождения это: Кайерканский угольный разрез-2 (г. Кайеркан), но уголь там добывается в очень небольших количествах, необходимых только для технологических целей города; шахта Воргашорская (г. Воркута); шахта Воркутинская (г. Воркута); Канско-Ачинское месторождение. Поэтому стоит рассмотреть варианты жидкого топлива – мазут и дизель и газообразного топлива – сжиженный газ.

Мазут – это жидкий продукт темно-коричневого цвета, остаток после выделения из нефти или продуктов ее вторичной переработки бензиновых, керосиновых и газойлевых фракций, выкипающих до 350-360 °С [2].

Мазутное хозяйство охватывает следующие операции [1, 3]:

1. Доставка мазута. От нефтеперерабатывающего завода мазут подается по одному трубопроводу, а в отдельных случаях при дополнительном обосновании допускается подача мазута по двум трубопроводам.

2. Прием и слив из железнодорожных цистерн. Для обеспечения быстрого приема и слива мазута сооружается приемно-сливное устройство, состоящее из сливной эстакады с железнодорожными путями, устройства для разогрева мазута, сливных желобов и приемных резервуаров с погружными перекачивающими насосами.

3. Хранение необходимого запаса в резервуарах с подогревом. Хранение мазута производится в наземных, полуназемных, подземных стальных или железобетонных резервуарах. Они имеют циркуляционный подогрев.

4. Подача в котельную.

На рис. 1 представлена принципиальная схема мазутного хозяйства.

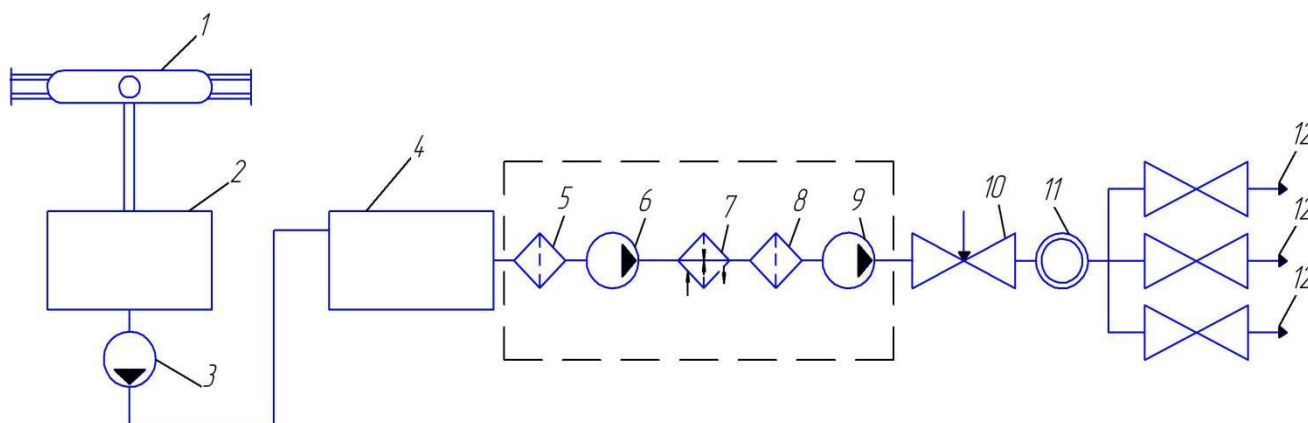


Рис. 1. Принципиальная схема мазутного хозяйства:

- 1 – цистерна; 2 – приемный бак; 3 – насос перекачки из приемного бака;
4 – основной резервуар; 5, 8 – фильтры грубой и тонкой очистки; 6, 9 – насосы I и II ступеней; 7 – подогреватель мазута; 10 – клапан регулирующий;
11 – расходомер мазута; 12 – форсунки котла

На тепловых электростанциях и в котельных применяются три схемы подвода мазута к форсункам: тупиковая, циркуляционная и комбинированная (тупиково-циркуляционная).

Тупиковая схема применяется, как правило, для небольших котельных, работающих на маловязких мазутах марок М20 и М40 в качестве аварийного и растопочного топлива, а также для котельных, потребляющих жидкое топливо как основное, резервное или аварийное. Подогрев топлива до температуры 85-90 °С по такой схеме осуществляется в расходном баке. Высота от пола котельной до низшего уровня мазута в баке должна быть не менее 5 метров,

чтобы давление мазута перед форсунками было не менее 0,03 МПа. Такая схема недостаточно надежна в эксплуатации и используется редко.

Преимущество – учет расхода топлива наиболее прост, так как ведется по одному мазутомеру перед котлами.

Недостатки: колебание давления в линии подачи мазута из-за частого изменения расхода; малые скорости движения топлива в магистрали при неполной загрузке котельной; затруднение при подаче топлива из магистрали в форсунки после ремонта или длительной остановки котлов; неблагоприятные условия работы крайних тупиковых форсунок; все мазутопроводы должны подогреваться с помощью паропроводов, заключенных в кожух с изоляцией; в самой низкой точке мазутопровода устраивается отвод с клапаном для спуска загрязненного топлива; мазутопровод должен иметь устройство для продувки паром.

Циркуляционная схема применяется при сжигании высоковязких мазутов, а также при работе котельной постоянно на мазуте или кратковременно на газе. Эта схема наиболее удобна в эксплуатации и широко применяется на практике.

Преимущества: наличие линии рециркуляции, позволяющей поддерживать мазут в резервуарах в «горячем» состоянии, что предотвращает расслоение его и влагоотстой; при продолжительном хранении мазута в резервуарах предусматривается работа местных секционных паровых подогревателей, чтобы поддерживать температуру мазута не ниже температуры застывания; предотвращается застывание топлива в трубопроводах.

Недостаток – неизбежность слива обработанного и подогретого мазута в емкости при остановке котлов, иначе может быть вызван перегрев топлива на всасе насоса.

Комбинированная (тупиково-циркуляционная) схема применяется при работе на станциях на переменных нагрузках, при частых переходах с газа на мазут, а также при работе со стабильными нагрузками на маловязких топливах. Эта схема наиболее приемлема для котлов, работающих на высоковязких мазутах.

Преимущества: универсальность, которая позволяет работать как по тупиковой схеме с подогревом мазута в расходной емкости, так и по циркуляционной схеме с подогревом мазута в резервуаре; наличие линии рециркуляции, которая позволяет поддерживать мазут в резервуарах в «горячем» состоянии, что в свою очередь, предотвращает расслоение мазута и влагоотстой; в резервуарах предусматриваются местные секционные паровые

подогреватели, что позволяет увеличить сроки хранения мазута в них; при этом температура мазута не должна опускаться ниже температуры застывания; предотвращение застывания топлива в трубопроводах.

Сжиженное топливо – это топливо состоящие из легкоконденсирующихся при сжатии газообразных углеводородов. Основные их компоненты – пропан и бутан. Сжиженный газ хранят и транспортируют в виде жидкости, а сжигают в газообразном состоянии. Топливо поступает к потребителям в цистернах или тонкостенных баллонах, заполненных сжиженным газом, над уровнем которого скапливается газовая фаза. Перед сжиганием сжиженное топливо регазифицируют. Для регазификации в промышленных установках снижают давление в хранилищах, отводя газовую фазу к горелкам и подогревая жидкую фазу.

Поскольку перевод горелок на пропан или бутан требует только смены сопел, сжиженный газ можно использовать в качестве резервного топлива для обеспечения бесперебойной подачи газа квалифицированным промышленным потребителям в случае кратковременных перебоев в подаче сетевого газа [4], а это преимущество по сравнению с другими видами резервного топлива.

На рис. 2 представлена принципиальная схема сжиженного углеводородного топлива.

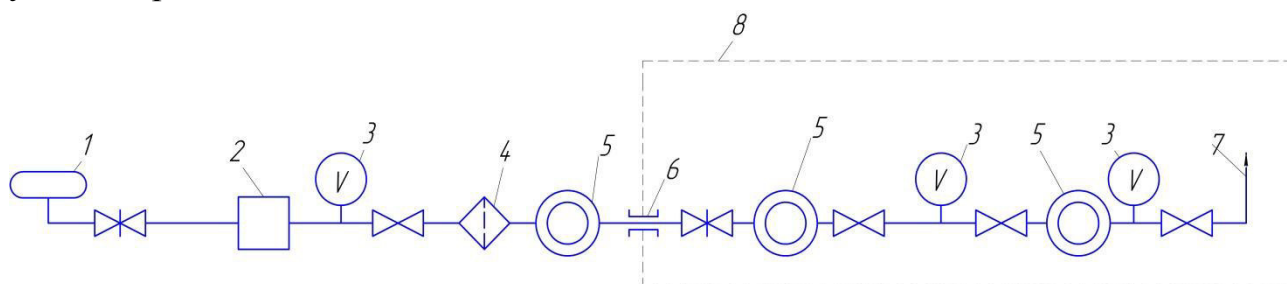


Рис. 2. Принципиальная схема сжиженного углеводородного топлива:

- 1 – сливное устройство; 2 – испарительная установка; 3 – манометр;
4 – фильтр газовый; 5 – расходомер газа; 6 – ввод газопровода в котельную;
7 – газовая горелка на котле; 8 – котельная

Парк хранения сжиженного углеводородного топлива состоит из:

1. Оборудования для слива сжиженного топлива из железнодорожных цистерн;
2. Оборудования для слива сжиженного топлива из резервуара;
3. Резервуары хранения;
4. Испарительная установка для преобразования жидкой фазы в паровую;
5. Термоизолированные трубопроводы.

Сжиженное топливо сливается с помощью насоса разгрузки жидкой фазы

в резервуары хранения и находится там в жидком состоянии, а в горелку топливо должно поступать в паровой фазе. Процесс перехода из одной фазы в другую не всегда происходит естественным путем. Следовательно, для этого необходимо иметь на котельной испарительную установку электрического, сухого или жидкостного типа, в которой происходит, разогрев жидкой фазы до нужной температуры для его испарения и превращения в паровую фазу.

Дизельное топливо – это жидкое топливо, получаемое из керосиново-газойлевых фракций прямой перегонкой нефти. Транспортируют топливо разными видами транспорта: железнодорожным, автомобильным и трубопроводным. Каждый вид имеет свои недостатки и преимущества. Хранят дизельное топливо в специальных резервуарах, емкость которых зависит от мощности котельной. Резервуары могут быть пластиковыми и металлическими, одностенными и двустенными.

Эффективность выбора резервной системы топливоснабжения должна выбираться на основании технико-экономического обоснования основных показателей, таких чтобы: транспортировка и цена топлива была не дорогой; теплота сгорания – высокая; хранение – без подогрева; вредные выбросы – минимальные; использовать наименьшее количество оборудования.

В качестве объекта исследования выбрана промышленная котельная ОАО «Сургутнефтегаз» в п. Барсово.

В табл. 1 представлены показатели применения трех видов топлива, для эффективного выбора системы топливоснабжения исследуемого объекта.

Таблица 1

Основные показатели по видам резервного топлива

Наименование показателя		Мазутное топливо	Сжиженное углеводородное топливо	Дизельное топливо
Цена за единицу условного топлива, р		11 р/кг	16 р/л	30 р/кг
Вредные выбросы	SO ₂	6,3-58,8 кг/т	0,006-0,01 г/м ³	4,5-52 кг/т
	NO ₂	5-14 кг/т	5-11 г/м ³	5-10 кг/т
	CO	0,005-0,05 кг/т	0,002-0,005 г/м ³	0,02-0,05 кг/т
	H ₂ O	0,1 кг/т	1000 г/м ³	0,1 кг/т
	CO ₂	3000 кг/т	2000 г/м ³	2400 кг/т
	зола и шлак	0,5-1 кг/т	—	—
Подогрев резервуаров с топливом		есть	нет	есть
Теплота сгорания, МДж/кг		39-40,5	46,8	42,7
Объемная плотность вещества, кг/л (кг/м ³)		—	0,54	0,85

Учитывая технико-экономическое обоснование выбора и анализируя табл. 1, можно сделать вывод, что эффективнее применить и эксплуатировать систему топливоснабжения на сжиженном углеводородном топливе в качестве резервной.

Список литературы

1. СП 89.13330.2012. Котельные установки (Актуализированная редакция СНиП II-35-76) [Текст]. – Введ. 2013-01-01. – М. : Минрегион России, 2012. – 99 с.
2. Сергиенко, С. Р. Высокомолекулярные соединения нефти [Текст] / С. Р. Сергиенко. – М. : Наука, 1979. – 269 с.
3. Клименко, А. В. Тепловое и атомные электростанции [Текст] / А. В. Клименко. – М. : МЭИ, 2003. – 648 с.
4. Равич, М. Б. Эффективность использования топлива [Текст] / М. Б. Равич – М. : Наука, 1977. – 344 с.

УДК 662.994

В. С. Бачкова, Л. А. Степанова

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОГО ТЕПЛА УХОДЯЩИХ ГАЗОВ В ВОДОГРЕЙНЫХ КОТЕЛЬНЫХ

Рассмотрены преимущества и недостатки охладителей дымовых газов. Предложена оптимизация подогрева обратной сетевой воды за счет тепловой энергии уходящих дымовых газов из котельного агрегата.

Природный газ в настоящее время является одним из наиболее используемых видов энергетических ресурсов. Потребление газа в энергетическом балансе составляет до 30 %. В связи с большой ролью, которую играет природный газ в экономике, серьезное значение придается его запасам. Каждый год данные по запасам природного газа обновляются. Существует несколько источников информации, представленные такими организациями, как ОПЕК и компания BritishPetroleum. В соответствии с представленными в настоящее время данными организациями, запасов природного газа хватит на 63 года [1].

Для повышения технико-экономических показателей водогрейных котельных применяют способы утилизации низкопотенциального тепла уходящих дымовых газов. Но, к сожалению, данному вопросу уделяется недостаточно внимания. Потери тепловой энергии с уходящими газами в водогрейных котельных достигают 20 % [2].

Рассматриваемый в данной статье способ использования тепла уходящих дымовых газов является одним из наиболее эффективных. Такой способ приводит к снижению расхода топлива, а также уменьшению выбросов в окружающую среду, что немало важно.

Температура уходящих дымовых газов в водогрейных котельных составляет 140-160 °С, при этом потери тепловой энергии составляют 15-20 % от общего баланса котельного агрегата.

Применение подогревателей, устанавливаемых на выходе из котла, позволяет не только уменьшить потери тепловой энергии, но и снизить выбросы загрязняющих веществ в окружающую среду [2].

Но для эффективной работы такой схемы необходимо учитывать температуру уходящих газов на выходе из теплообменного аппарата, которая не должна быть ниже температуры точки росы. Иначе это приведет к образованию конденсата, а в следствие к разрушению дымовой трубы. При сжигании природного газа температура точки росы продуктов сгорания составляет 55-60 °С [1].

Наиболее распространенным методом использования тепла уходящих газов в водогрейных котельных является использование подогревателей контактного и поверхностного типа. В табл. 1 приведены данные о преимуществах и недостатках таких подогревателей.

На рис. 1 представлена принципиальная схема водогрейной котельной, где показан один из способов использования низкопотенциального тепла уходящих дымовых газов. На трубопроводе обратной сетевой воды установлен подогреватель поверхностного типа (охладитель дымовых газов), который способствует увеличению температуры теплоносителя перед основным подогревателем сетевой воды.

Преимущества и недостатки контактных и поверхностных подогревателей

Поверхностный подогреватель		Контактныйподогреватель	
Преимущества	Недостатки	Преимущества	Недостатки
Простота обслуживания	Выпадение неразбавляемого водой конденсата с pH=4-5, что требует применения кислотостойкой стали для изготовления «мокрой части» теплообменника	Компактность	Ухудшение качества нагретой воды
Надежная работа подогревателя	Необходимость обязательного поддержания стабильного коэффициента избытка воздуха в продуктах сгорания на минимально возможном уровне	Экономически эффективные схемы применения в газифицированных котельных	Менее надежная работа
Экономия тепловой энергии		Сложнее в обслуживании	Ограничение температуры нагрева воды
Простота конструкции		Экономия тепловой энергии	
Проще в изготовлении		Очистка газов от вредных примесей, в том числе от NO ₂	
Компактность			
Качество нагретой воды не меняется			

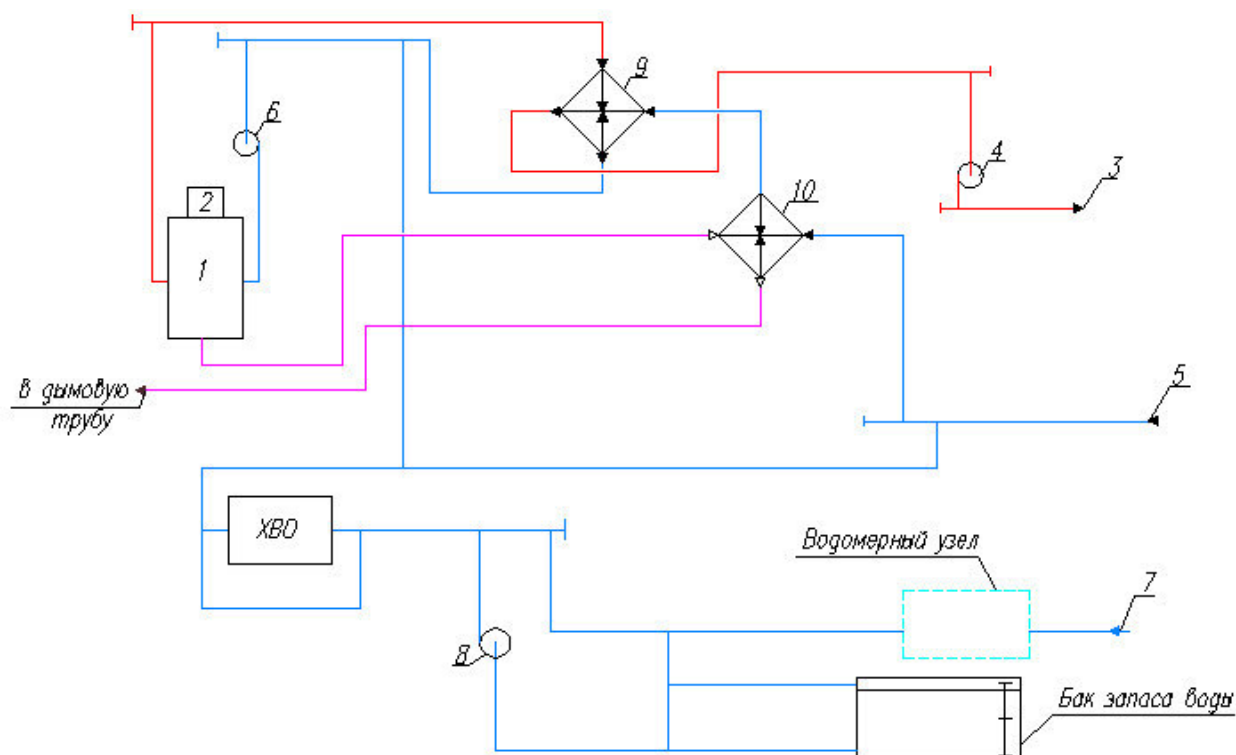


Рис. 1. Принципиальная схема водогрейной котельной с подогревом обратной сетевой воды за счет тепловой энергии уходящих дымовых газов:
 1 – водогрейный котел; 2 – газовая горелка; 3 – подающий трубопровод сетевой воды;
 4 – сетевой насос; 5 – обратный трубопровод сетевой воды; 6 – насос котлового контура;
 7 – подпиточный трубопровод; 8 – подпиточный насос; 9 – подогреватель сетевой воды;
 10 – охладитель дымовых газов

Рассмотренный способ подогрева обратной сетевой воды приводит к снижению расхода топлива на 10-20 %. Метод глубокой утилизации тепловой энергии дымовых газов позволяет увеличить коэффициент полезного действия котельной установки на 2-3 % [2].

Использование тепловой энергии уходящих газов, на выходе из котла в охладителе дымовых газов – мероприятие, способствующее повышению тепловой эффективности. Однако это ведет к увеличению затрат на утилизирующие устройства, поэтому целесообразно получить оптимальную температуру подогрева воды в обратном трубопроводе сетевой воды.

Значение оптимальной температуры подогрева воды в обратном трубопроводе сетевой воды, для конкретного значения температуры уходящих из котлоагрегата дымовых газов можно определить из выражения:

$$\frac{\partial Z_p}{\partial t_{c,b}} = C_t \frac{\partial B}{\partial t_{c,b}} + C_p \frac{\partial H}{\partial t_{c,b}} = 0, \quad (1)$$

где Z – сравнительная эффективность инновационных инвестиций по минимуму дисконтированных затрат, руб./год; B , C_t – расход и годовая стоимость топлива, $\text{м}^3/\text{с}$, $(\text{руб.}/\text{м}^3) \cdot (\text{с}/\text{год})$; C_p – годовая стоимость в сооружение 1 м^2 поверхности нагрева охладителя дымовых газов, $\text{руб.}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$; H – поверхность нагрева охладителя дымовых газов, м^2 ; $t_{c,b}$ – температура воды перед сетевым подогревателем в обратном трубопроводе сетевой воды, $^{\circ}\text{C}$.

Оптимизация температуры подогрева сетевой воды в охладителе дымовых газов обеспечит нахождение наиболее выгодных решений, для достижения максимального технико-экономического эффекта при наименьших затратах.

Список литературы

1. Добыча газа. Каталог статей [Электронный ресурс], режим доступа: <http://greenologia.ru/eko-problemy/dobycha-gaza>.
2. Жданов, Н. В. Повышение энергоэкологической эффективности сжигания газообразного топлива в водогрейных газотурбинных котлах [Текст]: Дис... канд. техн. наук. – Омск, 2010. – 184 с.

Е. А. Рацин, А. П. Стариков

ПОИСК СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ ПУТЕМ ИХ КЛАССИФИКАЦИИ

Статья посвящена вопросам классификации предприятий энергетики. Рассматриваются способы выделения их в обособленные группы и поиск взаимосвязей.

Время есть не что иное, как число движения по отношению к предыдущему и последующему. В энергетике время играет очень важную роль. Вопросы перспективного развития предприятий и правильность выбора стратегии развития во многом определяют эффективность работы в целом, экономическую и экологическую составляющие. Правильное и вовремя принятое решение может в значительной степени повлиять на развитие отрасли. По мудрому выражению Н. В. Гоголя: «стоит только попристальнее взглянуться в настоящее, будущее вдруг выступит само собой».

Одной из наиболее крупных задач энергетики является теплоснабжение. Россия занимает первое место в мире по масштабам теплоснабжения: объёму производства тепла, развитию теплофикации, протяжённости тепловых сетей, расходу топлива на производство тепла. В то же время этот сегмент топливно-энергетического комплекса страны был и остается нескоординированным в силу своей разобщенности. Теплоснабжение представлено сегодня в виде разрозненных звеньев, не имеющих, в отличие от других отраслей топливно-энергетического комплекса, единой технической, структурно-инвестиционной, экономической и организационной политики.

В целом тепловое хозяйство России - это множество локальных систем централизованного и децентрализованного теплоснабжения, рассредоточенных по отдельным населённым пунктам и промышленным предприятиям.

Целью проведенного исследования является поиск основных признаков классификации предприятий и путем группировки определение перспектив развития подобных станций.

К основным факторам, по которым можно классифицировать предприятия можно отнести: год ввода в эксплуатацию, основное топливо, электрическую мощность, тепловую мощность.

Анализировались год ввода в эксплуатацию и основное топливо 230 действующих тепловых электростанций России, установленная мощность которых составляет 25 МВт и выше. Данные получены из открытых источников тарифообразующих организаций, энциклопедических данных и схем теплоснабжения городов.

На основании рассмотренных данных построим диаграмму распределения предприятий по году ввода и основному топливу.

Диаграмма распределения предприятий по году ввода в эксплуатацию приведена на рис. 1.

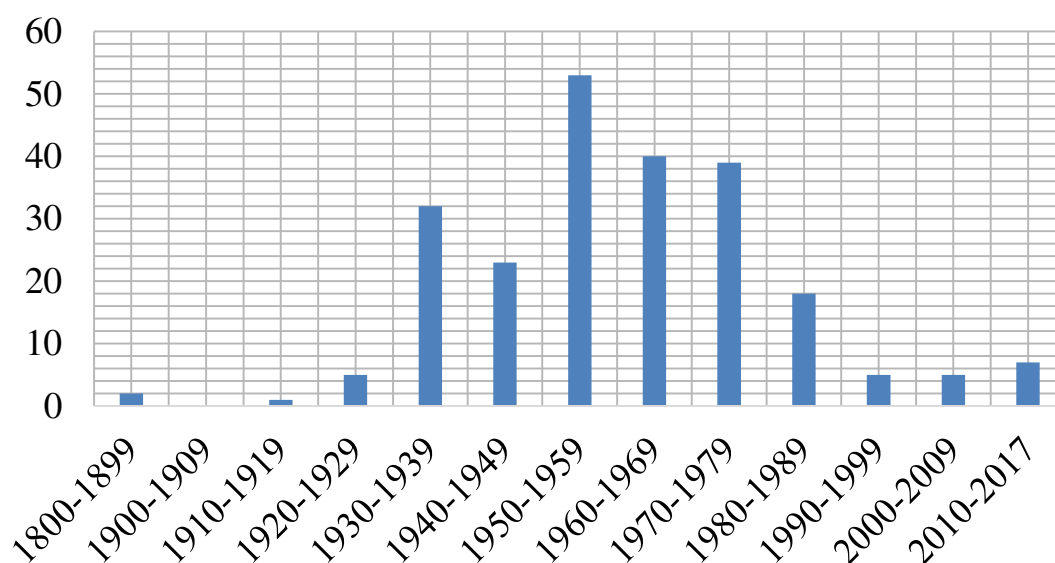


Рис. 1. Распределение действующих станций (более 25 МВт) по году ввода (количество предприятий/год ввода)

Диаграмма распределения предприятий по основному топливу приведена на рис. 2.

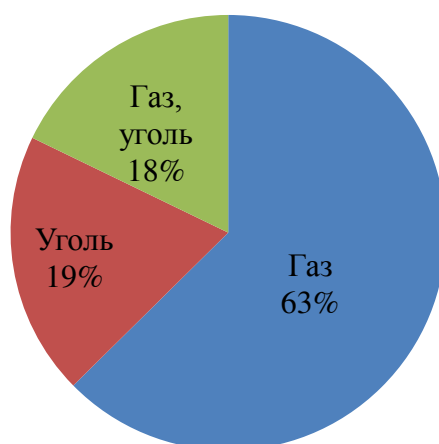


Рис. 1. Оценка основных топлив электростанций

Исходя из полученных данных, можно сделать вывод о том, что из рассмотренных электростанций большинство было введено в эксплуатацию в период с 1930 по 1979 годы, а основным топливом в большинстве случаев является природный газ. Тем самым можно предположить, что на определенном этапе предприятия будут сталкиваться с однотипными задачами.

Для примера рассмотрим данные о переводе на другой вид топлива нескольких предприятий введенных в эксплуатацию в 1954-1956 годах. Результаты сведены в табл. 1.

Таблица 1

Данные по переводу станций на другой вид топлива

Предприятие	Год ввода в эксплуатацию	Информация о переводе на другой вид топлива
Губкинская ТЭЦ	1954	В декабре 1988 года на сжигание газа были переведены котлы № 1 и № 2, в ноябре 1990 года котел № 3, а в январе 1991 года котел № 4.
Вологодская ТЭЦ	1956	В 1995 ТЭЦ переведена на сжигание природного газа.
ТЭЦ-16 Мосэнерго	1955	В 1972-1982 годы произведен перевод станции на газо-мазутное топливо
Барнаульская ТЭЦ-2	1955	В 1990-х годах часть котлов была переведена на природный газ.
Партизанская ГРЭС	1954	С приходом в Приморский край газопровода планируется переход станции на сжигание газа.
Хабаровская ТЭЦ-1	1954	В 2006 году начат перевод котлов на сжигание природного газа.

Имея данные об эффективности проведенных мероприятий можно сделать предварительные выводы о применении их на подобных предприятиях и перспективном развитии электростанций в будущем.

Значительный потенциал рыночной конкуренции в электроэнергетической отрасли заложен именно на уровне децентрализованной генерации и сбытового бизнеса, подходы, к реформированию которых отсутствуют в основной программе реструктуризации энергетики. Вместе с тем в условиях неопределенности перспектив развития отрасли, прохождения «точки невозврата» в реструктуризации единой энергосистемы страны именно малая энергетика может и должна стать стабилизирующим элементом проводимых в отрасли рыночных преобразований.

Сегодня, в условиях кризиса, оперативные меры принимаются повсеместно, широко обсуждаются на разных уровнях, благодаря чему вырабатываются общие подходы и компромиссные решения. Практическое применение таких подходов и решений требует кропотливой работы и согласования интересов всех участников: федеральных и региональных властей, энергокомпаний, потребителей, финансовых организаций и др. Принимаемые меры в значительной степени зависят от местных условий, перспектив развития территорий, возможностей и потребностей крупных промышленных предприятий, состояния социальной сферы и других факторов.

Список литературы

1. Современное состояние теплоснабжения России / А. С. Некрасов, Ю. В. Синяк и др. // Проблемы прогнозирования / ФГБУН Ин-т народнохозяйственного прогнозирования Российской академии наук. – М. – 2011. – № 1. – С. 30 – 43.
2. Носолева, В. А. Организационно-экономические проблемы реформирования электроэнергетической отрасли / В. А. Носолева // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН / Кабардино-Балкарский научный центр РАН. – Нальчик. – 2010. № 6-1. – С. 112 – 119.
3. Антикризисные решения для региональной энергетики /Л. Д. Гительман, Б. А. Бокарев и др. // Экономика региона / Ин-т экономики Уральского отделения РАН. – Екатеринбург. – 2015. – № 3. – С. 173 – 188.

УДК 620.92

С. А. Арсентьева, Е. О. Антонова

СИСТЕМА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ОТ ТТЭЦ-1 И ТТЭЦ-2 Г. ТЮМЕНИ

В данной работе представлены расчет и подбор технических показателей, с помощью которых определяется оценка надежности систем теплоснабжения Тюменских ТТЭЦ-1 и ТТЭЦ-2.

Показатель надежности электроснабжения источников тепловой энергии (K_9) характеризуется наличием или отсутствием резервного электропитания [1]:

- при наличии резервного электроснабжения $K_э = 1,0$;
- при отсутствии резервного электроснабжения при мощности источника тепловой энергии (Гкал/ч):

- до 5,0 – $K_э = 0,8$;
- от 5,0 до 20 – $K_э = 0,7$;
- свыше 20 – $K_э = 0,6$.

ТТЭЦ-1 и ТТЭЦ-2 относятся к высоконадежным объектам по производству электрической энергии, имеющим резервное электроснабжение, поэтому для рассматриваемой системы теплоснабжения показатель электроснабжения источников тепловой энергии $K_э = 1,0$.

Показатель надежности водоснабжения источников тепловой энергии ($K_в$) характеризуется наличием или отсутствием резервного водоснабжения [1]:

- при наличии резервного водоснабжения $K_в = 1,0$;
- при отсутствии резервного водоснабжения при мощности источника тепловой энергии (Гкал/ч):

- до 5,0 – $K_в = 0,8$;
- 5,0 – 20 – $K_в = 0,7$;
- свыше 20 – $K_в = 0,6$.

Для ТТЭЦ-1 и ТТЭЦ-2 принимается значение показателя надежности водоснабжения источников тепловой энергии $K_в = 1,0$.

Показатель надежности топливоснабжения источников тепловой энергии ($K_т$) характеризуется наличием или отсутствием резервного топливоснабжения [1]:

- при наличии резервного топлива $K_т = 1,0$;
- при отсутствии резервного топлива при мощности источника тепловой энергии (Гкал/ч):

- до 5,0 – $K_т = 1,0$;
- 5,0 – 20 – $K_т = 0,7$;
- свыше 20 – $K_т = 0,5$.

Оба источника теплоснабжения имеют резервные виды топлива, следовательно, показатель надежности топливоснабжения источников тепловой энергии $K_т = 1,0$.

Показатель соответствия тепловой мощности источников тепловой энергии и пропускной способности тепловых сетей фактическим тепловым нагрузкам потребителей (K_6). Величина этого показателя определяется размером дефицита (%):

- до 10 - $K_6 = 1,0$;
- 10 – 20 - $K_6 = 0,8$;
- 20 – 30 - $K_6 = 0,6$;
- свыше 30 - $K_6 = 0,3$.

На существующих источниках тепловой энергии имеются резервы располагаемой мощности «нетто». Расчеты, выполненные на электронной модели существующей системы теплоснабжения г. Тюмень от источников комбинированной выработки тепловой и электрической энергии, позволяют сделать вывод об ограничении пропускной способности существующих тепломагистралей. Из анализа результатов расчета следует, что величина дефицита тепловой мощности находится на уровне 0-10%. Следовательно, показатель соответствия тепловой мощности источников тепловой энергии и пропускной способности тепловых сетей фактическим тепловым нагрузкам потребителей $K_6 = 1,0$.

Показатель уровня резервирования источников тепловой энергии (K_p) и элементов тепловой сети, характеризуемый отношением резервируемой фактической тепловой нагрузки к фактической тепловой нагрузке (%) системы теплоснабжения, подлежащей резервированию:

- 90 – 100 - $K_p = 1,0$;
- 70 – 90 - $K_p = 0,7$;
- 50 – 70 - $K_p = 0,5$;
- 30 – 50 - $K_p = 0,3$;
- менее 30 - $K_p = 0,2$.

Поскольку в рассматриваемой системе теплоснабжения имеется 19 кольцевых схем магистральных тепловых сетей, а также значительное количество перемычек, колец распределительных и внутриквартальных сетей, невозможно с достаточной степенью точности определить число резервируемых потребителей. По экспертной оценке, отношение резервируемой фактической тепловой нагрузки к фактической тепловой нагрузки находится в диапазоне 50-70%, следовательно, показатель уровня резервирования источников тепловой энергии $K_p = 0,5$.

Показатель технического состояния тепловых сетей (K_c), характеризуемый долей ветхих, подлежащих замене (%) трубопроводов [1]:

- до 10 - $K_c = 1,0$;
- 10 – 20 - $K_c = 0,8$;

- 20 – 30 - $K_c = 0,6$;
- свыше 30 - $K_c = 0,5$.

На основании предоставленной теплоснабжающими организациями информации следует вывод, что фактический период эксплуатации значительной части тепловых сетей превышает нормативный срок эксплуатации. Процент ветхих сетей, подлежащих замене, и находится на уровне 32 %, следовательно, показатель технического состояния тепловых сетей $K_c = 0,5$.

Показатель интенсивности отказов тепловых сетей ($K_{отк}$), характеризуемый количеством вынужденных отключений участков тепловой сети с ограничением отпуска тепловой энергии потребителям, вызванным отказом и его устранением за последние три года [2]:

$$I_{отк} = \frac{n_{отк}}{3 \times S} \left[\frac{1}{(\text{км} \times \text{год})} \right], \quad (1)$$

где $n_{отк}$ - количество отказов за последние три года;

S - протяженность тепловой сети данной системы теплоснабжения, км.

В зависимости от интенсивности отказов ($I_{отк}$) определяется показатель надежности ($K_{отк}$)

- до 0,5 – $K_{отк} = 1,0$;
- от 0,5 до 0,8 – $K_{отк} = 0,8$;
- от 0,8 до 1,2 – $K_{отк} = 0,6$;
- свыше 1,2 – $K_{отк} = 0,5$.

Количество вынужденных отключений участков тепловой сети с ограничением/отключением отпуска тепловой энергии потребителям, вызванным отказом и его устранением, согласно формуле (1), равно:

$$I_{отк} = \frac{9422}{3 \times 494,883} = 6,35 \frac{1}{(\text{км} \times \text{год})}$$

следовательно, показатель интенсивности отказов тепловых сетей равен $K_{отк} = 0,5$.

Показатель относительного недоотпуска тепловой энергии ($K_{нед}$) в результате аварий и инцидентов определяется по формуле [2]:

$$Q_{нед} = \frac{Q_{ав}}{Q_{фак}} \times 100 [\%], \quad (2)$$

где $Q_{ав}$ – аварийный недоотпуск тепловой энергии потребителям за последние

3 года;

$Q_{\text{факт}}$ – фактический отпуск тепловой энергии системой теплоснабжения за последние три года.

В зависимости от величины недоотпуска тепла ($Q_{\text{нед}}$) определяется показатель надежности ($K_{\text{нед}}$)

- до 0,1 – $K_{\text{нед}} = 1,0$;
- от 0,1 до 0,3 – $K_{\text{нед}} = 0,8$;
- от 0,3 до 0,5 – $K_{\text{нед}} = 0,6$;
- свыше 0,5 – $K_{\text{нед}} = 0,5$.

В связи с высокой степенью резервирования системы теплоснабжения невозможно точно определить величину недоотпуска тепловой энергии потребителям. Аварийный недоотпуск определен приближенно, на основании данных об утечках из системы теплоснабжения, анализа мест утечек, характера повреждений и т.п. В результате величина недоотпуска тепловой энергии, согласно формуле (2), составляет:

$$Q_{\text{нед}} = \frac{7089,3}{5652302,9} \times 100 = 0,125 \text{ \%}.$$

Следовательно, показатель относительного недоотпуска тепловой энергии $K_{\text{нед}} = 0,8$.

Показатель качества теплоснабжения ($K_{\text{ж}}$), характеризующийся количеством жалоб потребителей тепла на нарушение качества теплоснабжения [2]:

$$Ж = \frac{D_{\text{жал}}}{D_{\text{сумм}}} \times 100 [\%], \quad (3)$$

где $D_{\text{жал}}$ – количество зданий, по которым поступили жалобы на работу системы теплоснабжения;

$D_{\text{сумм}}$ – количество зданий, снабжающихся теплом от системы теплоснабжения.

В зависимости от рассчитанного коэффициента ($Ж$) определяется показатель надежности ($K_{\text{ж}}$)

- до 0,2 – $K_{\text{ж}} = 1,0$;
- от 0,2 до 0,5 – $K_{\text{ж}} = 0,8$;
- от 0,5 до 0,8 – $K_{\text{ж}} = 0,6$;
- свыше 0,8 – $K_{\text{ж}} = 0,4$.

Показатель, характеризующий количество жалоб потребителей тепла на нарушение качества теплоснабжения составляет:

$$Ж = \frac{1470}{7632} \times 100 = 19,3 \text{ \%}.$$

Следовательно, показатель качества теплоснабжения $K_{ж} = 0,4$.

Показатель надежности конкретной системы теплоснабжения ($K_{над}$) определяется как средний по частным показателям $K_{э}$, $K_{в}$, $K_{т}$, $K_{б}$, $K_{р}$ и $K_{с}$ [2]:

$$K_{над} = \frac{K_{э} + K_{в} + K_{т} + K_{б} + K_{р} + K_{с} + K_{отк} + K_{нед} + K_{ж}}{n}, \quad (4)$$

где n – число показателей, учтенных в числителе.

Таким образом, применительно к рассмотренным показателям общий показатель надежности рассматриваемой системы теплоснабжения, по формуле (4), составил:

$$K_{над} = \frac{1,0 + 1,0 + 1,0 + 1,0 + 0,5 + 0,5 + 0,5 + 0,8 + 0,4}{9} = 0,744$$

Оценка надежности систем теплоснабжения

В зависимости от полученных показателей надежности системы теплоснабжения с точки зрения надежности могут быть оценены как:

- высоконадежные - более 0,9;
- надежные - 0,75 - 0,89;
- малонадежные - 0,5 - 0,74;
- ненадежные - менее 0,5.

На основании рассчитанного показателя надежности конкретной системы теплоснабжения $K_{над} \approx 0,74$ следует вывод о том, что рассматриваемая система теплоснабжения от ТТЭЦ-1 и ТТЭЦ-2 относится к категории малонадежных систем теплоснабжения.

Список литературы

1. Схема теплоснабжения МО ГО г. Тюмени на период 2014-2029 г.г./ А. С. Чистович, Т.С. Чижикова и др. // «Существующее положение в сфере производства, передачи и потребления тепловой энергии для целей теплоснабжения». – М.: – 2015. – С. 295 – 299.
2. Приказ Министерства энергетики РФ и Министерства регионального развития РФ от 29.12.1012 N 565/667 «Об утверждении методических рекомендаций по разработке схем теплоснабжения» (зарегистрирован Минюстом России 14.05.2007, регистрационный N 9449).

Т. И. Бельская

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ И ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ В Г. ОМСКЕ

В статье приведен анализ состояния системы централизованного теплоснабжения города Омска. Рассмотрены мероприятия по повышению уровня энергоэффективности на источниках, системах транспортировки и потребления тепловой энергии.

Теплоэнергетика занимает одно из ведущих мест среди отраслей экономики. В связи с этим, вопросы развития, формирования и становления топливно-энергетического комплекса (ТЭК) остаются наиболее актуальными как в глобальном масштабе всего мира, так и для каждой страны, региона в отдельности.

На сегодняшний день в России остается немало энергодефицитных и энергозависимых регионов, к которым относится и Омский.

В городе Омске преобладает централизованное теплоснабжение от ТЭЦ, крупных районных и промышленных котельных.

ТЭК г. Омска на 2015 г. включает в себя 172 источника теплоснабжения, в том числе три ТЭЦ.

Централизованная система теплоснабжения города сложилась, в основном, в 1960 – 1980 годы. Теплоснабжение осуществляется от ТЭЦ-3, ТЭЦ-4, ТЭЦ-5 АО «ТГК-11» и котельных ТЭЦ-2 и КРК АО «Омск РТС», которыми обеспечивается более 60% суммарной нагрузки потребителей города. От крупных котельных МП «Тепловая компания» и ведомственных котельных теплопроизводительностью более 20 Гкал/ч – около 20 %. Часть потребителей частного сектора имеет индивидуальное теплоснабжение (печное отопление, мелкие котлы) [3, 6].

ТЭК Омской области в основном базируется на внешних сырьевых ресурсах: экибастузском и кузнецком угле, сырой нефти и природном газе среднеобских нефтегазовых месторождений. Основным видом топлива на ТЭЦ является экибастузский уголь, на его долю приходится 65% общего топливопотребления. Однако на котельных наиболее распространен природный

газ, его доля в топливном балансе котельных города составляет 95%, на уголь 0,7%, на мазут – 3,8%, на другие виды топлива – 0,6% [3, 6].

На угольных котельных и ТЭЦ необходимо отметить низкий уровень эксплуатации оборудования, неудовлетворительное техническое состояние котлов и, как следствие, низкий коэффициент полезного использования топлива и электроэнергии. Как основное, так и вспомогательное оборудование на этих котельных требуют либо замены, либо капитального ремонта.

В зоне действия энергоисточников АО «ТГК-11» и АО «Омск РТС» эксплуатацию магистральных тепловых сетей осуществляет АО «Омск РТС», квартальных тепловых сетей МП г. Омска «Тепловая компания». Также АО «Омск РТС» осуществляет в соответствии с «Правилами эксплуатации электрических станций и сетей» ведение тепловых и гидравлических режимов отпуска теплоты в тепловые сети по установленным законам регулирования.

Функциональная структура центрального теплоснабжения города Омска от источников тепловой энергии до потребителя представлена на рис. 1.

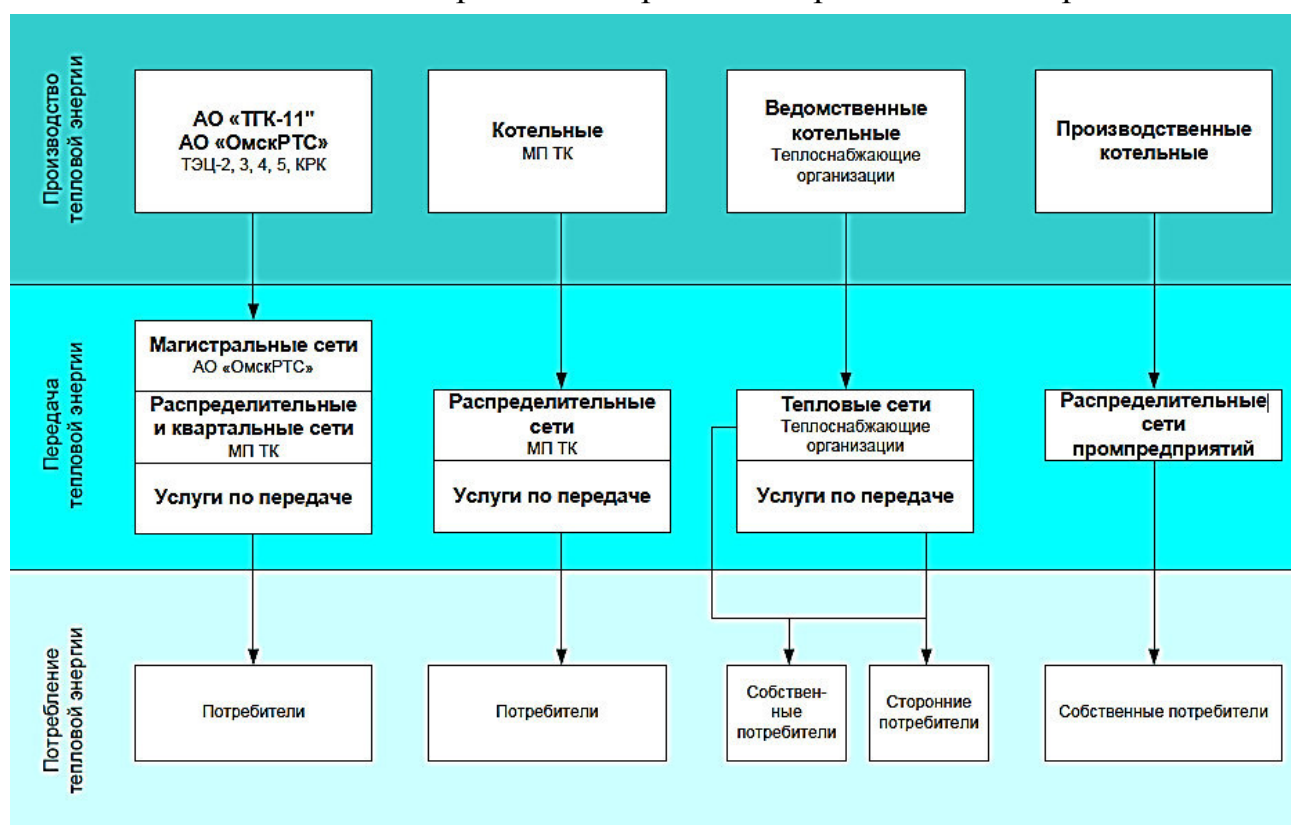


Рис. 1. Функциональная структура теплоснабжения г. Омска на 2015 г.

В этой структуре отражается типичная организация теплоснабжения, сложившаяся за последние 50 лет в России при организации теплоснабжения от теплоэлектроцентралей общего пользования [6].

Схема тепловых сетей от тепловых источников АО «ТГК-11» и АО «Омск РТС» характеризуется своей сложностью, а именно: схема радиально-кольцевая, большая протяженность тепловых сетей от источника до конечного потребителя (более 20 км), низкая резервируемость, изношенность теплотрасс, оцениваемая не менее 50%. Тепловые источники работают с приближенными к проектным рабочими давлениями 14,0 - 14,5 кгс/см², расчетный температурный график 150-70°C. Однако теплоснабжающие предприятия вынуждены корректировать тепловой режим: температура подаваемой воды составляет 115-120°C вместо 150°C. Соответственно, увеличивается циркуляция воды, растут энерго- и теплопотери, растёт количество используемых реагентов для химводоочистки [8].

Переход на фактический режим тепловых сетей по графику 110-115°C против проектного 150°C требует двукратного увеличения расхода сетевой воды. Так же выполнение нормируемого температурного графика является как технической, так и экономической задачей. Перевод тепловых сетей на температуру меньшую проектной, приводит к разрегулировке гидравлического режима сетей, завышенный рост циркуляции может привести к авариям [9].

Таким образом, большая часть тепловых сетей по техническому состоянию и режимам эксплуатации теплосети не отвечают нормативным требованиям. Потери тепловой энергии через теплоизоляцию и с утечками достигают более 30 % от передаваемой энергии при нормативе до 6 %.

От тепловых источников АО «ТГК-11» и АО «Омск РТС» подключено 13485 ИТП, 59 ЦТП и ТПНС. Для увеличения пропускной способности тепловых сетей установлено 13 ПНС. Схемы присоединения отопления, вентиляции и ГВС выбираются в зависимости от характера тепловых нагрузок абонента и режима работы тепловой сети. Наиболее распространенным способом центрального регулирования является качественный метод регулирования отпуска тепла, который в свою очередь используется для теплоисточников АО «Омск РТС» и АО «ТГК-11».

Присоединение потребителей к тепловым сетям выполнено в основном по зависимой схеме, и лишь небольшая часть (~3%) подключена по независимой схеме через ИТП и ЦТП. Горячее водоснабжение осуществляется по открытой (~50%) и закрытой схемам различных видов (~50%).

На сегодняшний день основная масса ИТП подключены к тепловым сетям с помощью элеватора, системами автоматического регулирования

отопительно-вентиляционной нагрузки и ГВС оснащено только ~12 % ИТП.

Главное достоинство элеватора — низкая стоимость, отсутствие затрат на эксплуатацию и потребности в электроэнергии. Элеватор — это простое, надежное и неприхотливое в эксплуатации устройство, для его обслуживания не требуются высококвалифицированное обслуживание. Недостатком элеватора является невозможность оперативного изменения коэффициента смешения, что приводит к осенне-весенним «перетокам», когда температура в тепловой сети превышает расчетную для систем отопления. Схемы с элеватором уже не отвечают возросшим условиям надежности, качества и повышения экономичности систем теплоснабжения в целом. Кроме того, ограничивается возможность автоматического регулирования систем отопления. По этой причине за рубежом элеватор отвергнут как устройство для тепловых пунктов. Применение элеваторных узлов тормозит внедрение в системах теплоснабжения энергосберегающих мероприятий, таких как комплексное автоматическое регулирование параметров теплоносителя в здании и адекватную этим задачам конструкцию системы отопления, обеспечивающих точность и стабильность комфортных условий и экономичный расход тепла [7].

Суммарная средняя экономия от внедрения автоматизированных ИТП, в зависимости от степени автоматизации и способов регулирования: для жилых зданий составляет от 20 до 40 % от общего объема теплопотребления, а для объектов административного и производственного назначения от 25 до 60 % [1].

Правильно разработанные, тщательно продуманные проектные решения и установка ИТП может свести энергопотребление к минимуму и повысить комфортные условия жизни потребителей.

Дефицит энергетических ресурсов, неразрешенный ряд проблем ТЭК, требует поиска кардинальных подходов для их разрешения. Неэффективное использование энергоресурсов определяет необходимость наличия огромного потенциала энергосбережения. В первую очередь, энергосбережение должно базироваться не на сокращении потребления тепловой или электрической энергии, а именно благодаря правильному и экономичному использованию ресурсов. Массовое и повсеместное внедрение сберегающих мероприятий в сфере потребления энергоресурсов сказывается на состоянии ТЭК более продуктивно и экономично, нежели просто наращивание объемов добычи этих ресурсов. Поэтому именно энергосбережение может стать источником

дополнительных энергоресурсов и способствовать повышению эффективности их использования [5].

Требуется разработка и внедрение энергосберегающих технологий с минимальными удельными расходами энергоресурсов. Это в значительной мере относится как к источникам тепловой энергии, ее транспортировке, так и потребителям.

Таким образом, основным приоритетным направлениям в энергосбережении теплоснабжения города Омска можно отнести следующие:

1) в производстве тепловой энергии - повышение коэффициента полезного действия котлоагрегатов, теплофикационных и других установок на основе современных технологий сжигания топлива, когенерационной выработки тепловой и электрической энергии, увеличение коэффициента использования тепловой мощности, развитие систем распределенной генерации тепла с вовлечением в теплоснабжение возобновляемых источников энергии, повышение технического уровня, автоматизации и механизации мелких теплоисточников, оснащение их системами учета и регулирования отпуском тепловой энергии, а также обоснованное разделение сферы централизованного и децентрализованного теплоснабжения;

2) в системах транспорта тепловой энергии - сокращение тепловых потерь и утечек теплоносителя в результате реконструкции тепловых сетей на основе применения теплопроводов заводской готовности, эффективных способов их прокладки, современных запорно-регулирующих устройств, автоматизированных узлов и систем управления режимами, а также организация оптимальных режимов функционирования тепловых сетей, теплоисточников и потребителей;

3) в системах потребления тепловой энергии - учет количества и контроль качества потребляемой тепловой энергии, реконструкция и новое строительство зданий с применением теплоустойчивых конструкций, энергоэффективного оборудования и теплопроводов, автоматизация систем теплоснабжения зданий и ее совершенствование, а также высокая технологичность всего процесса теплоснабжения, доступность его контроля и возможность управления.

Еще на стадии проектирования и строительства объектов тепловой энергии необходимо разрабатывать эффективные, экономичные и экологичные способы производства, транспортировки и потребления тепловой энергии.

Омский регион в силу своего сурового климата, имеет огромный потенциал энергосбережения и повышения энергоэффективности, который составляет более 40% от уровня потребления энергии на сегодняшний день. Ресурс повышения энергоэффективности следует рассматривать как один из основных энергетических ресурсов будущего экономического роста.

Список литературы

1. Федеральный закон от 23 ноября 2009 г. N 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».
2. Определение технико-экономических показателей по затратным статьям тарифа на отпускаемую тепловую энергию промышленно-отопительными котельными / В. М. Лебедев, В. В. Овсянников и др. // Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск, 1999. – 94 с.
3. Калужский, М. Л. Экономика западной Сибири: Омская область. Часть 1. Экономика Омской области: Учебное пособие / М. Л. Калужский – Омск.: Издательство ОмГТУ, 2006. – 260 с.
4. Дмитриев, А.В. Энергосбережение в Омской области – проблемы и перспективы / А. В. Дмитриев // «Энергосбережение и энергетика в Омской области», № 3, 2004. с. 7 – 10.
5. Лукьянов, А. Г. Новый подход к выбору оптимального направления развития системы теплоснабжения городов / А. Г. Лукьянов // «Энергосбережение и энергетика в Омской области», № 3, 2005. с. 27 – 31.
6. Схема теплоснабжения города Омска до 2030 г. [Электронный ресурс]: Режим доступа: <http://www.admomsk.ru/web/guest/government/divisions/35/heat-supply-scheme>.
7. Пырков, В. В. Современные тепловые пункты. Автоматика и регулирование / В. В. Пырков – К.: И ДП, 2007. – 252 с.
8. Богданов, А. Б. Кризис теплоэнергетической системы города Омска [Электронный ресурс]: Режим доступа: <http://exergy.narod.ru/2-3.htm>.
9. Марков, А. Р. Повышение эффективности систем централизованного теплоснабжения / А. Р. Марков // Электронный журнал энергосервисной компании «Экологические системы». №11. 2008 г.

ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ И НЕОБХОДИМОСТИ УСТАНОВКИ ГЕНЕРИРУЮЩИХ МОЩНОСТЕЙ НА ТЭЦ-2 С ОЦЕНКОЙ КОНКУРЕНТНО – СПОСОБНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

В статье автором рассматривается вопрос применения теплофикационного оборудования на омской ТЭЦ-2. Дается комплексное сравнение различных установок с учетом особенностей и проблем на исследуемом объекте. Итогом работы является ряд предложений по развитию станции в режиме комбинированной выработки электроэнергии и тепла.

Комбинированное производство электроэнергии и тепла является энергоресурсосберегающей технологией. Оно позволяет использовать 78-86% теплоты топлива, превращая значительную её часть в электричество, принципиально более ценное, чем тепло. Природный газ является высококачественным энергетическим топливом, поэтому использование его только на выработку тепла или электрической энергии крайне неэффективно. По сравнению с лучшими схемами раздельного производства общий расход топлива при комбинированном производстве электроэнергии и тепла оказывается на 20 – 25 % меньше. Соответственно уменьшаются выбросы в окружающую среду.

Наиболее выгодно для Омской энергосистемы внедрение комбинированного производства электроэнергии и тепла на Омской ТЭЦ-2, являющейся структурным подразделением АО «Омск РТС» (далее ТЭЦ-2).

ТЭЦ-2 была введена в эксплуатацию в 1941 году и является старейшим энергоисточником города Омска. ТЭЦ-2 расположена в Ленинском административном округе г. Омска и обеспечивает теплоснабжение жилищно-коммунального сектора и промышленных предприятий в основном Ленинского и Октябрьского административных округов. ТЭЦ-2 с 1990 года работает в режиме котельной.

Установленная тепловая мощность – 378 Гкал/ч. Выдача тепловой мощности производится в паре и горячей воде. Тепловая схема ТЭЦ – с поперечными связями между котлами по пару и питательной воде. Электрическая схема станции и схема выдачи электрической мощности

сохранена, рассчитана на 66 МВт и соответствует проектной мощности, что является неоспоримым преимуществом по сравнению с другими теплоисточниками, планирующими установку генерирующего оборудования, а также удешевляющим проект внедрения когенерации. Потребность в электрической мощности, прилегающей к ТЭЦ-2 сети 110 кВ, составляет 34 – 42 МВт.

В котельном цехе ТЭЦ-2 на 01.01.2016 установлено восемь паровых котлов шести различных типов общей паропроизводительностью 635 т/час. За период эксплуатации котлоагрегаты неоднократно подвергались реконструкции. С 1989 по 1993 годы все котлы были переведены с 4,0 МПа на пониженные параметры пара 1,3 МПа с целью продления срока эксплуатации. Последняя реконструкция проводилась для перевода котлов на газообразное топливо с 1997 по 1999 годы. За этот период 6 из 8 котлов были переведены на газ с сохранением в качестве резервного топлива – угля. Основное котельное оборудование в настоящее время выработало свой ресурс. Общее состояние котлоагрегатов, бойлерных, питательной, подпиточной, водоподготовительной установок удовлетворительное, однако, как основное, так и вспомогательное оборудование физически и морально устарело, не унифицировано, для поддержания исправного и работоспособного состояния требует узкоспециализированного персонала, повышенных затрат и индивидуального подхода. Характеристики основного оборудования представлены в табл. 1.

Таблица 1

Ст.№	Тип (марка) котла	Год изготовления	Год начала работы	Наработка на 01.01.2016, час	Паропроизводительность, т/ч
2	НЗЛ-650	1939	1941	284 211	65
3	Бобкок-Верке	1941	1943	295 951	70
4	ФТ-60/34	1941	1943	318 272	70
5	Бобкок - Вилькокс	1943	1949	278 822	85
6	Бобкок - Вилькокс	1943	1952	267 972	85
7	ТП-130	1956	1958	302 506	110
8	БКЗ-75-39ФБ	1965	1966	176 435	75
9	БКЗ-75-39ФБ	1965	1967	186 958	75

Неоспоримые преимущества инвестиционного проекта с установкой на ТЭЦ-2 генерирующего оборудования:

1. Расположение ТЭЦ-2 в центре тепловых и электрических нагрузок южной части г. Омска;

2. Наличие круглогодичных тепловых нагрузок и возможность переключения дополнительных тепловых нагрузок к тепловым сетям ТЭЦ-2;

3. Наличие выделенных лимитов газа (при выборе типа генерирующего оборудования: ПГУ, ГТУ, ГПУ);

4. Наличие потенциального прямого электрического потребителя – Омский завод транспортного машиностроения (при выборе варианта продажи электрической энергии без выхода на оптовый рынок);

5. Наличие схемы выдачи электрической мощности, сохранённой со времени перевода ТЭЦ-2 в режим котельной;

6. Наличие свободных площадей и существующих тепловых нагрузок (300 Гкал/ч) для проектирования и строительства парогазовой установки большой мощностью на последующих этапах модернизации ТЭЦ-2.

Для снижения величины капитальных вложений на первом этапе модернизации ТЭЦ-2 требуется учесть:

1. Общее потребление топлива газоиспользующим оборудованием ТЭЦ-2 не должно превышать пропускной способности стационарного оборудования ГРП;

2. Установленная электрическая мощность станции после реконструкции не должна превышать первоначальную (проектную) мощность станции 66 МВт;

3. Отпуск тепловой мощности после реконструкции не должен превышать пропускную способность существующих тепловых сетей станции.

Предлагается к рассмотрению три варианта первого этапа инвестиционного проекта «Установка генерирующих мощностей на ТЭЦ-2»:

1. Мощностью до 8 МВт для покрытия расхода электроэнергии на собственные нужды ТЭЦ-2 и АО «Омск РТС»;

2. Мощностью 20-25 МВт с покрытием расхода электроэнергии на собственные нужды ТЭЦ-2 и АО «Омск РТС» и выдачей электрической энергии прямому электрическому потребителю без выхода на оптовый рынок;

3. Мощностью 25-68 МВт с покрытием расхода электроэнергии на собственные нужды и выдачей в сеть электрической энергии с выходом на оптовый рынок.

В результате анализа экономии топлива при комбинированном производстве электроэнергии и тепла в сравнении с отдельным производством в зависимости от величины удельной выработки электроэнергии на тепловом потреблении, а также в зависимости от финансовых возможностей и целевой величины экономии топлива возможны различные варианты выбора типа и состава генерирующей установки.

Выработка электроэнергии с паровыми турбинами с давлением пара 1,3 МПа не приводит к существенной экономии топлива по сравнению с существующей отдельной выработкой тепла на ТЭЦ-2 и электроэнергии на любом из других энергоисточников.

Только повышение параметров пара с применением парогазовых установок будет конкурентноспособно с экономией 25-40 % топлива. Преимуществами ПГУ-ТЭЦ малой мощности также являются высокие экологические показатели, небольшой срок строительства, компактность и относительно небольшая стоимость.

По результатам анализа можно сделать вывод, что применение существующих котлов и паровых турбин с давлением пара 1,3 МПа (удельная выработка электроэнергии на тепловом потреблении $W = 0,1-0,125$ МВт/Гкал/ч при нагреве сетевой воды паром турбины до температуры 70-110 °С) малоэффективно, так как для выработки электрической мощности 8 МВт требуется тепловая нагрузка 80 Гкал/ч ($Q = 8/0,1 = 80$ Гкал/ч); для турбины мощностью 20 МВт требуется тепловая нагрузка не менее 200 Гкал/ч ($Q = 20/0,1 = 200$ Гкал/ч). Тепловая нагрузка в 200 Гкал/ч на ТЭЦ-2 имеется только в пик отопительного сезона не более 1,5-2 месяцев в году. Остальное время турбины 1,3 МПа будут находиться в резерве.

Для парогазовой установки мощностью 25 МВт с удельной выработкой электроэнергии на тепловом потреблении W от 1 МВт/Гкал/ч требуется тепловая нагрузка не более $Q = 25/1 = 25$ Гкал/ч. Нагрузка горячего водоснабжения (ГВС) ТЭЦ-2 круглый год составляет 35÷41 Гкал/ч. По этой причине ПГУ ТЭЦ-2 ($W = 1,0$ МВт/Гкал/ч) на базе круглогодичной тепловой нагрузки горячего водоснабжения обеспечивает круглогодичную экономию топлива от комбинированного производства электроэнергии и тепла большую, чем самые экономичные паровые турбины Омской ТЭЦ-5 с $W = 0,5÷0,6$ МВт/Гкал/ч.

При оценке конкурентно-способных технологий рассмотрен вариант установки на ТЭЦ-2 ПГУ с котлом утилизатором (Эм Альянс) двумя

давлениями 5,5 МПа и 0,6 МПа и паровой турбины типа Т-16/22 с двумя давлениями 5,25 МПа и 0,53 МПа (Калужский турбинный завод). Расчёт показал, что удельная выработка ПГУ с данным составом оборудования достигает 1,5 МВт/Гкал/ч. Результаты расчета в сравнении с параметрами работы действующих омских ТЭЦ приведены в табл. 2 [1].

Таблица 2

	ТЭЦ-5 13,0 МПа уголь	ТЭЦ-4 13,0 МПа уголь	ТЭЦ-3 9,0 МПа газ	ТЭЦ-2 1,3 МПа газ	Малая ПГУ ТЭЦ-2 5,5 МПа+0,6 МПа
Нагрузка горячего водоснабжения, Гкал/час	40	40	40	40	40
Удельная выработка W на тепловом потреблении, МВт/Гкал/ч	0,58	0,55	0,45	0,11	1,5
Мощность круглогодичной выработки ЭЭ на базе нагрузки горячего водоснабжения ТЭЦ, МВт	23,2	22	18	4,4	60
Экономия топлива на ТЭЦ против раздельного производства, %	26,8	25,5	26,0	3,5	40,4

Существующие тепловые нагрузки в зоне действия ТЭЦ-2 позволяют на последующих этапах выполнения данного инвестиционного проекта выполнить проектирование и строительство парогазовой установки большой мощностью с достижением удельной выработки электроэнергии на тепловом потреблении $W = 1,4 - 1,5$ МВт/Гкал/ч и экономией топлива по сравнению с существующим раздельным производством электроэнергии и тепла до 20 %.

Новые мощности ПГУ ТЭЦ-2 будут востребованы в энергодефицитном Омском регионе и конкурентно-способны по сравнению с раздельным производством электроэнергии, получаемой из Объединённой системы (ОЭС) Сибири и ОЭС Казахстана, и тепла, производимой на ТЭЦ-2 в режиме котельной.

На основе проведённой оценки конкурентно-способных технологий и предварительного стратегического анализа внешней среды можно сделать вывод, что наиболее эффективным и рентабельным вариантом модернизации ТЭЦ-2 является установка ПГУ мощностью 20÷25 МВт (либо двух ПГУ по 10÷12,5 МВт).

Реализация данного проекта отвечает основным положениям «Энергетической стратегии России на период до 2020 года», целью которой является максимально эффективное использование природных топливно-энергетических ресурсов, выработка тепловой и электрической энергии на ТЭЦ, использующих в качестве топлива природный газ, должна осуществляться по наиболее выгодному циклу, которым является цикл ПГУ. Внедрение парогазовых установок в комплексе с существующим оборудованием станций позволяет поднять коэффициент использования топлива при выработке тепловой и электрической энергии.

Список литературы

1. Богданов, А. Б. Анализ показателей теплофикационной турбины по относительному приросту топлива на производство тепла [Текст] / А. Б. Богданов // Энергорынок. – 2010. – № 6 (78). – С. 63 – 70.
2. Цанев, С. В. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций [Текст] / С. В. Цанев, В. Д. Буров, А. Н. Ремезов – М.: МЭИ, 2009. – 579 с.
3. Сазанов, Б. В. Тепловые электрические станции. Учебное пособие для техникумов [Текст] / Б. В. Сазанов – М.: Энергия, 1974. – 224 с.
4. Омская генерация встает на путь инноваций [Электронный ресурс], - <http://www.tgk11.com/media/media/5920> - статья в интернете.

УДК 662.994

К. А. Щебетова

К ВОПРОСУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОТЫ УХОДЯЩИХ ГАЗОВ КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТА НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Рассмотрена эффективность применения термомаслянных котельных агрегатов. Предложена оптимизация температуры подогрева воздуха на выходе из рекуператора котельного агрегата нефтехимического производства, с целью повышения эффективности его работы.

Развитие нефтехимической промышленности требует сегодня экономичное и качественное оборудование котельных агрегатов, удовлетворяющего современным техническим процессам. К требованиям относят высокий коэффициент полезного действия, экологичность, надежность и высокие требования безопасности.

Экономичные решения – главные требования современности. Одним из таких решений является создание оборудования, имеющего соответствующие характеристики безопасности и эффективности. Инновационным направлением в нефтехимической промышленности является проектирование котельного агрегата с использованием в качестве теплоносителя масла. В настоящее время термомасляные котлы – это оптимальный вариант получения тепловой энергии в сфере производства нефтехимии.

Термомасляный котел (рис. 1) представляет собой оборудование с многократной принудительной циркуляцией органического теплоносителя с высокой температурой. При этом теплоноситель может быть, как на синтетической, так и на минеральной основе. Нагревание масла или иного теплоносителя осуществляется с помощью утилизации тепла, получаемого путем сжигания твердых, жидких, газообразных видов топлива, а также биотоплива.

Кроме того, термомасляное оборудование (котлы) остается эффективной альтернативой паровому. Прежде всего, котлы термомасляные устроены так, что в них не замерзает теплоноситель, потому теплотрассу можно прокладывать надземным способом. Система котельной полностью изолирована, котлы имеют защиту от избыточного давления. Так как не применяется вода в качестве теплоносителя, то не требуется дорогостоящее оборудование для водоподготовки. Эксплуатация котельной происходит автоматически, трубопроводы не подвергаются коррозии.

Максимальная рабочая температура для нагревателей типа DMH (горизонтального исполнения) и DMV (вертикального исполнения) 300°C и перепад температуры (разница температуры между подающей и обратной линии) до 50°C.

Так, неопределима возможность получения высоких температур при относительно низких показателях давлениях. Именно этот критерий позволяет значительно снизить стоимость такого оборудования и повысить уровень безопасности его работы. Вместе с этим, низкое давление, вязкость и высокая

термоустойчивость позволяют быстро и просто управлять температурами в технологическом процессе.

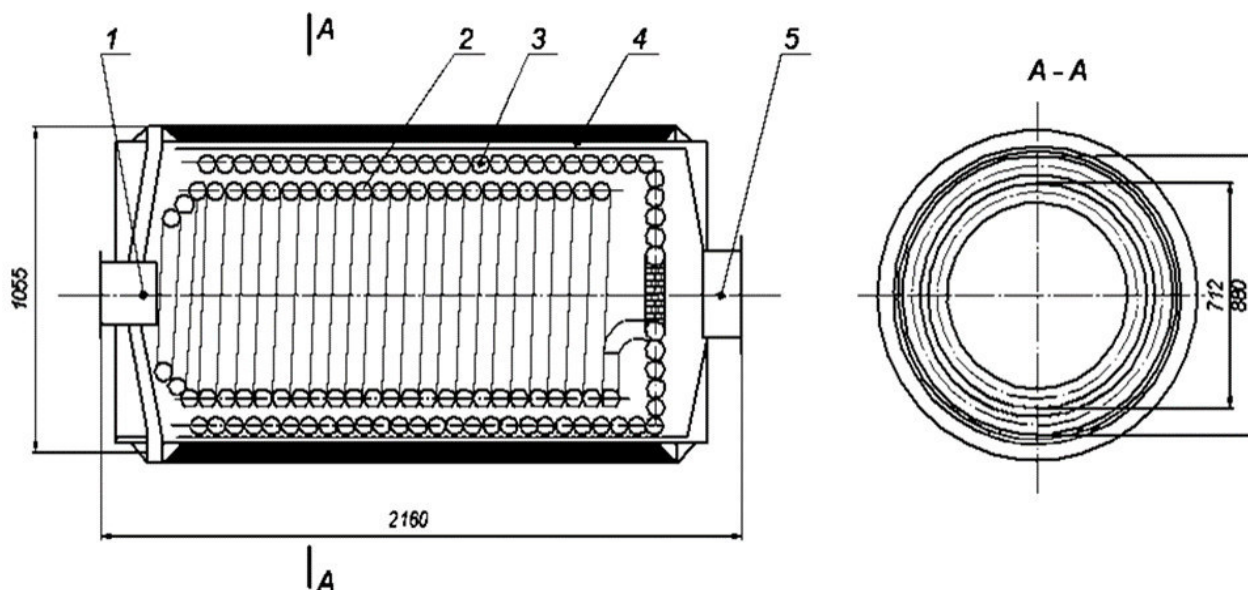


Рис. 1. Устройство нагревателя Lavart DMH: 1 – расположение горелки; 2 – первый кольцевой канал (по ходу газа); 3 – второй кольцевой канал (по ходу газа); 4 – корпус котла с изоляцией; 5 – выход дымовых газов

Актуальность выбранной темы обусловлена тем, что отходящие дымовые газы, которые образуются при работе котла, выбрасываются при высокой температуре.

При низких температурах окружающей среды дымовые газы начинают конденсироваться прямо в трубах, что приводит к преждевременной коррозии и износу оборудования.

Тепло отходящих дымовых газов необходимо утилизировать с целью повышения экономической эффективности технологического процесса. Возвращение части энергии, расходуемой в технологическом процессе, для повторного использования в том же процессе (рекуперация) при необходимости рационального использования природных топливных ресурсов является важной технической задачей.

Термомасляный котел может нагревать теплоноситель до температуры 300 °С при давлении, близком к атмосферному, тогда как котел насыщенного пара для повышения температуры до 300°С требует создания давления 86,5 кг/см².

На приведенном графике (рис. 2) видно значение давления, требуемое для достижения температуры 300°С в паровой системе. Лишь немногие изготовители предлагают такие котлы высокого давления. Кроме того, котлы

высокого давления чрезвычайно дорогие.

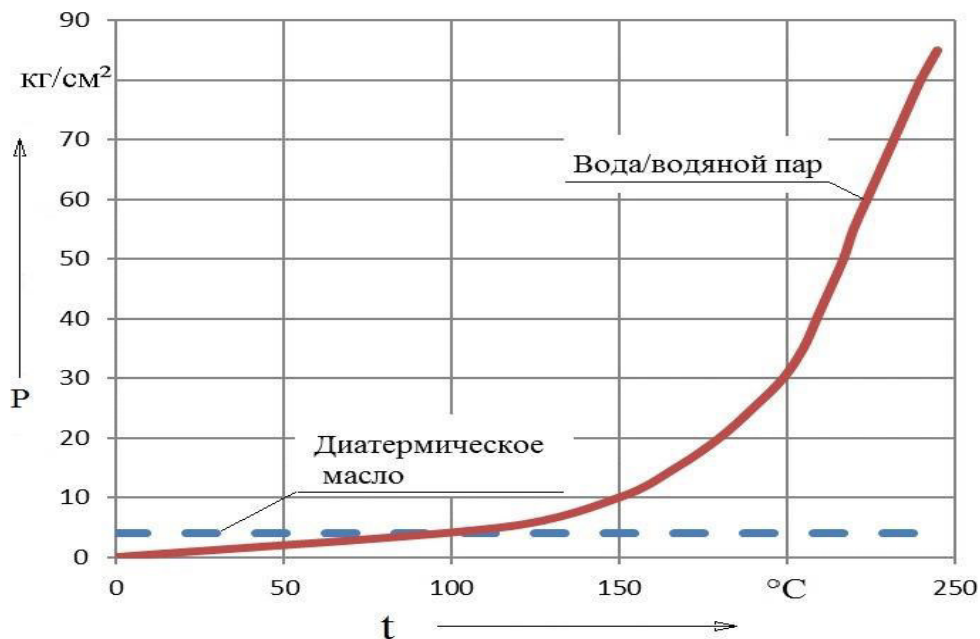


Рис. 2. График зависимости температуры от давления:

p – давление в системе, кг/см^2 ; t – температура, $^{\circ}\text{C}$

Расчет котлоагрегата, работающего на диатермическом масле [1], показал температуру уходящих газов 337°C .

Потери тепла с уходящими газами [2, 3], %:

$$q_2 = \frac{N_{yx} - \alpha_{yx} N_{x.v}^0}{Q_p^p} (100 - q_4), \quad (1)$$

где N_{yx} – энтальпия уходящих из котла газов при температуре уходящих газов, равная $4887,3 \text{ кДж/кг}$;

α_{yx} – коэффициент избытка воздуха средний по газоходу, равный $1,05$;

$N_{x.v}^0$ – энтальпия холодного воздуха при $t_{x.v} = 30^{\circ}\text{C}$ и $\alpha = 1$, равная $363,807 \text{ кДж/кг}$;

Q_p^p – располагаемое тепло сжигаемого топлива, равное $35904,2 \text{ кДж/кг}$;

q_4 – потери теплоты от механической неполноты сгорания топлива, %;

$$q_2 = \frac{4887,3 - 1,05 \cdot 363,807}{35904,2} 100 = 12,548 \text{ \%}.$$

Значение потерь $q_2 = 12,548 \text{ \%}$ является большим и не соответствует условиям экономичности.

Снижать температуру уходящих газов путем увеличения площади

поверхностей нагрева котла экономически не выгодно, так как это чрезмерно увеличивает расход металла на котел.

Использование тепла отходящих газов организуется разными способами. При регенеративном или замкнутом охлаждении тепло отходящих газов используется для непосредственного повышения экономичности технологического процесса. Если в результате регенеративного охлаждения используется не все тепло отходящих газов, то применяют котлы-утилизаторы. Физическое тепло отходящих газов используют также для выработки электроэнергии во встроенных газотурбинных установках.

По мере увеличения затрат на добычу топлива и производства энергии возрастает необходимость в более полном использовании их при преобразовании в виде горючих газов, тепла нагретого воздуха и воды. Хотя утилизация вторичных энергетических ресурсов нередко связана с дополнительными капитальными вложениями и увеличением численности обслуживающего персонала, опыт передовых предприятий подтверждает, что использование вторичных энергетических ресурсов экономически весьма выгодно.

Эффективность сжигания топлива может быть повышена за счет более полного использования физической теплоты уходящих газов для подогрева воздуха, что позволяет повысить коэффициент полезного действия и сократить удельный расход топлива.

Использование теплоты уходящих газов, на выходе из котла в рекуператоре – основное мероприятие по повышению тепловой эффективности. Однако это ведет к увеличению затрат на теплоутилизирующие устройства, поэтому целесообразно получить оптимальную температуру подогрева воздуха идущего для горения топлива в котельных агрегатах нефтехимического производства.

Значение оптимальной температуры подогрева воздуха для конкретного значения температуры уходящих из котельного агрегата дымовых газов можно определить из выражения:

$$\frac{\partial Z_p}{\partial \alpha_B''} = C_T \frac{\partial B}{\partial \alpha_B''} + C_p \frac{\partial H}{\partial \alpha_B''} = 0, \quad (2)$$

где Z – сравнительная эффективность инновационных инвестиций по минимуму дисконтированных затрат, руб./год;

B, C_T – расход и годовая стоимость топлива, $\text{м}^3/\text{с}$, $(\text{руб.}/\text{м}^3) \cdot (\text{с}/\text{год})$;

C_p – годовая стоимость в сооружение 1 м^2 поверхности нагрева

рекуператора, руб./($\text{м}^2 \cdot \text{год}$);

H – поверхность нагрева рекуператора, м^2 ;

$t_{\text{в}}''$ – температура воздуха на выходе из рекуператора, $^{\circ}\text{C}$.

Оптимизация температуры подогрева воздуха на выходе из рекуператора, обеспечит нахождение наиболее выгодных технических решений, для достижения максимального технико-экономического эффекта при наименьших затратах.

Список литературы

1. Технические условия ТУ-8419-012-09481354-2016. «Нагреватель диатермического масла LAVART DMH/DMV.
2. Котельные установки и парогенераторы: Учебник для бакалавров / В. М. Лебедев, А. С. Заворин и др. – М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2013. – 376 с.
3. Тепловой расчет котельных агрегатов. Нормативный метод / Н. В. Кузнецов, В. В. Митор, И. Е. Дубовский; под ред. Н. В. Кузнецова. – М.: ЭКОЛИТ, 1998. – 259с.

УДК.69.658.26

А. Э. Пиир, О. А. Козак

ПОВЫШЕНИЕ ТЕПЛОВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ В СУРОВЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Разработана упрощенная методика расчета нормативного коэффициента теплопередачи жилого здания и выполнены исследования по влиянию на суммарные теплотери размеров здания, уровня теплоизоляции наружных ограждений и доли регенерации теплоты в системе вентиляции. Рассмотрены здания простой геометрической формы («спичечный коробок») с числом этажей 1, 2, 4, 8, 16 жилой площадью от 100 до 25600 м^2 при уровне теплового сопротивления стен 1, 3, 5 $\text{м}^2\text{C}/\text{Вт}$ и доли регенерации тепла вентиляционного потока воздуха 0; 0,5; 0,66. Результаты исследования показали, что при увеличении габаритов здания происходит резкая трансформация размеров и структуры наружных ограждений: доля площади перекрытий сокращается в три раза, доля площади стен увеличивается в два раза. В шесть раз сокращается доля площади поверхности наружной оболочки здания по сравнению с ее отапливаемой площадью. Отнесенный к отапливаемой площади средний коэффициент теплопередачи здания уменьшается в три

раза. Показано, что для дальнейшего снижения нормативных теплопотерь жилых зданий наиболее эффективными путями являются:

1. *Рекуперация теплоты в системе вентиляции и тем глубже, чем выше уровень теплозащиты, чем холоднее климат зоны сооружения здания.*
2. *Укрупнение размеров зданий за счет снижения их числа.*
3. *Сверхнормативное повышение теплозащиты малоквартирных зданий и коттеджей.*
4. *Кубическая форма 2 – 3 этажных зданий для Крайнего Севера.*

Россия является самой холодной из обитаемых стран земного шара. По этой причине 93% ее жителей населяют лишь 33% территории: Европейскую часть, Юг Сибири и Дальнего Востока.

До 1995 г. нормативный уровень теплозащиты жилых и общественных зданий России обеспечивал лишь соблюдение санитарных требований внутри отапливаемых помещений при минимальном тепловом сопротивлении наружных ограждений ($R_{ст} = 0,9...1,2 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$) [1, 2]. Годовой расход теплоты на одного жителя для отопления и вентиляции жилых и общественных зданий q , в зависимости от зоны проживания, составлял от 2,35 до 4,4 Гкал/год·чел [3], а в общем по стране - $500 \cdot 10^6$ Гкал или 70млн тонн условного топлива. В Европейской части России на отопление жилых и производственных зданий затрачивается энергоресурсов в несколько раз больше, чем в странах, расположенных на одинаковой широте – Финляндии, Швеции, Германии.

Для сокращения расходов топлива СНиП [4] потребовал увеличить теплозащиту наружных ограждений жилых зданий в 2,5...4 и более раз в зависимости от «хладоемкости» отопительного периода Dd , $\text{°C} \cdot \text{сут}$ и ограничил расчетные теплопотери жилых зданий величиной $120...80 \text{ Вт/м}^2$ [5]. Это позволило снизить суммарную расчетную тепловую нагрузку отопления и вентиляции, например, для пятиэтажного жилого здания на 80 квартир, в южном исполнении - на 37% и в северном исполнении – на 55%.

Поскольку проблема экономии топлива в жилищно-коммунальном хозяйстве остается по-прежнему актуальной [6], рассмотрим общие теплотехнические закономерности, описывающие теплопотери здания, и попытаемся установить наиболее рациональные пути их сокращения.

Жилые здания отличаются разнообразием размеров, геометрических форм, архитектурных стилей и материалов, использованных для сооружения. Однако процесс утечки теплоты из отапливаемых помещений в окружающую

среду через стены, окна и наружные покрытия – перекрытия описывается формулами теплопередачи [7]

$$Q = \Delta t (\sum A_i / R_i) = K_{\text{ср}} \Delta t A_{\text{нар}}, \text{ Вт} \quad (1)$$

где Δt , °C – перепад температуры воздуха внутри и снаружи здания;

A_i , R_i – площадь поверхности строительных элементов наружного ограждения здания, м² и их сопротивления теплопередаче, м²°C/Вт;

$A_{\text{нар}} = \sum A_i$, м² – площадь поверхности наружной оболочки здания;

$K_{\text{ср}}$ – средний коэффициент теплопередачи через наружную оболочку здания, Вт/м²°C.

Формула (1) используется для расчета теплотерь здания по его строительным данным и вычисления среднего коэффициента теплопередачи, который служит показателем теплового совершенства оболочки и соответствия теплозащиты здания нормативным требованиям.

Как показано в [8], формула (1), может быть использована для упрощенного расчета нормативных теплотерь здания в предпроектной стадии, когда известны лишь габариты здания по наружному обмеру (длина, ширина, высота) и уровень теплозащиты.

Установлено, что средний безразмерный нормативный коэффициент теплопередачи жилых зданий простой прямоугольной формы («спичечный коробок») высотой от 1 до 16 этажей описывает формула.

$$\overline{K}_{\text{ср}} = K_{\text{ср}} \cdot R_{\text{ст}} = \overline{K}_{\text{ст}} + \overline{K}_{\text{пп}} + \overline{K}_{\text{оз}} = a_{\text{ст}} (1 - \omega) + 0,714 \cdot a_{\text{пп}} + 6,25 \cdot \omega \cdot a_{\text{ст}}, \quad (2)$$

где $\overline{K}_{\text{ст}}$, $\overline{K}_{\text{пп}}$, $\overline{K}_{\text{оз}}$ – безразмерные коэффициенты теплопередачи стен, покрытий - перекрытий, оконных закрытий, $\overline{K}_i = K_i / R_i$;

$\omega = A_{\text{ос}} / A_{\text{ст}}$ – доля площади остекления фасадов здания;

$z = H/h$, число этажей здания высотой по h , м;

$a_{\text{пп}} = A_{\text{пп}} / A_{\text{нар}}$ – доля покрытий - перекрытий в общей площади наружных ограждений;

$a_{\text{ст}} = A_{\text{ст}} / A_{\text{нар}}$ – доля площади стен в общей площади наружных ограждений.

Конкретную величину сопротивления теплопередаче стен жилого здания выбирают в зависимости от «хладоемкости» отопительного периода года, D_d , °C·сут [9].

$$R_{\text{ст}} = 0,35 \cdot D_d \cdot 10^{-3} + 1,4, \text{ м}^2\text{°C/Вт} \quad (3)$$

Исследуем влияние геометрических размеров здания на его теплотехнические показатели. Рассмотрим ряд зданий простой прямоугольной

формы с числом квартир от 1 до 256, числом этажей $z = 1, 2, 4, 8, 16$. Кубатура зданий $V = B \cdot L \cdot H$, m^3 растет с шагом в 4 раза, причем для повышения плотности жилой застройки увеличение высоты H опережает рост длины здания L .

Геометрические показатели зданий описывают формулы:

- площадь отапливаемых помещений, m^2

$$A_o = B L z = V / h, \quad (4)$$

- площадь наружных ограждений, m^2

$$A_{нар} = A_{ст} + A_{пп} = 2(LB + BH + HL), \quad (5)$$

- величина охлаждающих здание поверхностей, на единицу отапливаемой площади

$$\varphi = A_{нар} / A_o = 2h(L^{-1} + B^{-1} + H^{-1}) \quad (6)$$

- доля площади перекрытий и стен в площади наружных ограждений

$$a_{пп} = A_{пп} / A_{нар} = (1 + H/L + H/B)^{-1} \\ a_{ст} = 1 - a_{пп} \quad (7)$$

Результаты расчета геометрических показателей жилых домов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Изменение геометрических характеристик жилого дома
при увеличении его размеров

Характеристика здания	Число этажей				
	1	2	4	8	16
A_o, m^2	100	400	1600	6400	25600
Высота - H , м	3	6	12	24	48
Ширина - B , м	8	10	12	14	16
Длина - L , м	12,5	20	33	57	100
$\varphi = A_{нар} / A_o$	3,23	1,92	1,18	0,78	0,54
$a_{пп} = A_{пп} / A_{нар}$	0,619	0,521	0,424	0,319	0,222
$a_{ст} = A_{ст} / A_{нар}$	0,381	0,474	0,576	0,681	0,778
$a_{ос} = A_{ос} / A_{нар}$	0,030	0,047	0,07	0,096	0,12
$\omega = A_{ос} / A_{ст}$	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16
$s = A_{ст} / A_{пп}$	0,61	0,9	1,36	2,13	3,57

Полученные данные свидетельствуют о резкой трансформации геометрических характеристик жилых зданий при увеличении размеров: доля площади перекрытий апп сокращается в три раза с 0,62 до 0,22, а доля площади стен аст увеличивается в два раза с 0,38 до 0,78. Величина относительной площади остекления увеличивается в четыре раза с 0,03 до 0,12. Вместе с тем

резко сокращается относительная величина охлаждающих здание наружных поверхностей ϕ с 3,23 до 0,54.

Резкое сокращение размеров охлаждающей оболочки на единицу отапливаемой площади обеспечивает высокую тепловую эффективность крупных зданий, несмотря на увеличение доли поверхности ограждающих конструкций с более низким теплотехническим качеством.

Следует заметить, что использование кубической формы для наиболее энергорасточительных малоквартирных зданий позволяет сократить теплопотери на 10...20% за счет снижения доли наружной поверхности ϕ .

Укрупнение жилых зданий за счет уменьшения их числа является эффективным способом теплосбережения. Как видно из таблицы 2, одно здание с жилой площадью 400 м² имеет в 6 раз меньше площадь наружных ограждений, чем четыре здания с жилой площадью по 100 м² каждое. Одно четырехэтажное здание площадью 1600 м² имеет в 8 раз меньше площадь наружных ограждений, чем четыре двухэтажных здания площадью по 400 м². С учетом возрастания среднего коэффициента теплопередачи снижение теплопотерь через ограждения составит более 5 раз.

В табл. 2 приведены величины среднего коэффициента теплопередачи для указанного ряда жилых зданий по формуле (2) и составляющих его величин $\bar{K}_{ст}$, $\bar{K}_{пп}$, $\bar{K}_{оз}$.

Расчеты показывают, что структура теплопотерь в жилых зданиях и их величина резко меняются с увеличением габаритов здания и увеличением доли поверхности вертикальных ограждений:

- коэффициент теплопередачи через стены увеличивается в два раза;
- коэффициент теплопередачи через покрытия уменьшается в три раза;
- коэффициент теплопередачи через окна увеличивается в пять раз.

Средний, отнесенный к наружной поверхности здания, коэффициент теплопередачи $\bar{K}_{ср}$ увеличивается почти в два раза с 0,9 до 1,59, а отнесенный к отапливаемой площади здания $\bar{K}_{ср} \cdot \phi$ уменьшается в 3 раза с 2,7 до 0,9.

Увеличение термического сопротивления наружных ограждений с $R_{ст} = 1 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$ в 3 и 5 раз вызовет пропорциональное снижение среднего коэффициента теплопередачи $K_{ср} = \bar{K}_{ср} \cdot \phi / R_{ст}$, Вт/(м²·°C), но лишь частично скажется на суммарных теплопотерях жилого здания, значительную долю которых составляют вентиляционные потери.

Изменение структуры и величины теплотерь
сквозь различные ограждения жилого дома

Безразмерный коэффициент теплопередачи	Число этажей				
	1	2	4	8	16
$\overline{K}_{ст}$	0,350	0,474	0,507	0,58	0,65
$\overline{K}_{пп}$	0,442	0,375	0,305	0,23	0,16
$\overline{K}_{ок}$	0,154	0,293	0,43	0,62	0,75
$\overline{K}_{ср} \rightarrow A_{нар}$	0,90 0,8	0,98 0,95	1,24 1,3	1,43 1,34	1,59 1,6
$\overline{K}_{ср} \cdot \varphi \rightarrow A_o$	2,7	1,9	1,5	1,3	0,9

Условный вентиляционный коэффициент теплопередачи при норме вентиляционного потока воздуха $L = 30 \text{ м}^3/(\text{ч} \cdot \text{чел.})$ и заселенности общей площади здания $f = 20 \text{ м}^2/\text{чел.}$ [10] составляет величину

$$K_{вен} = 0,28 L c_p \rho / f = 0,28 \cdot 30 \cdot 1 \cdot 1,3 / 20 = 0,54, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}) \quad (8)$$

Исследуем, как повлияет вентиляционная теплотеря на суммарный коэффициент теплопередачи жилого здания при различных уровнях его теплоизоляции $R_{ст}$ и коэффициенте регенерации тепла r в системе вентиляции:

$$K_{сум} = \overline{K}_{ср} \cdot \varphi / R_{ст} + 0,54 (1 - r), \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}) \quad (9)$$

В табл. 3 приведены результаты расчета суммарного коэффициента теплопередачи жилых зданий с числом этажей 3, 5, 9 при сопротивлении теплопередачи $R_{ст} = 1, 3, 5 \text{ м}^2\text{C}/\text{Вт}$ и доли рекуперации теплоты в системе вентиляции $r = 0; 0,5; 0,66$.

Расчеты показали, что увеличение термического сопротивления теплопередаче в три раза по сравнению с исходным значением $R_{ст} = 1 \text{ м}^2\text{C}/\text{Вт}$, обязательным для зданий сооруженных до 1995 г., вызывает снижение суммарного коэффициента в два раза для жилых зданий высотой 3, 5 и 9 этажей. Однако дальнейшее повышение теплозащиты этих зданий за счет увеличения сопротивления теплопередаче еще на две позиции до $R_{ст} = 5 \text{ м}^2\text{C}/\text{Вт}$ вызывает снижение суммарного коэффициента теплопередачи всего на 20 % из-за тормозящего влияния вентиляционного коэффициента теплопередачи.

**Влияние сопротивления теплопередаче ограждений и рекуперации
теплоты в системе вентиляции на теплотери жилых зданий**

Показатель	Число этажей		
	3	5	9
Размеры зданий $H \times L \times B$, м $\times$ м $\times$ м	9 $\times$ 40 $\times$ 10	15 $\times$ 60 $\times$ 12	27 $\times$ 30 $\times$ 14
Общая жилая площадь A_o , м ²	1200	3600	10400
Относительная величина площади наружных ограждений ϕ	1,32	0,96	0,72
Средний безразмерный коэффициент теплопередачи $\overline{K}_{cp} \cdot \phi$, отнесенный к отапливаемой площади здания	1,54	1,29	1,07
Вентиляционный коэффициент теплопередачи $K_{вен}$, Вт/(м ² $\cdot$ °C) при $r = 0$ $r = 0,5$ $r = 0,66$	0,54 0,27 0,18	0,54 0,27 0,18	0,54 0,27 0,18
Суммарный коэффициент теплопередачи жилого здания $K_{сум}$, Вт/(м ² $\cdot$ °C) при $R_{ст} = 1$ м ² °C/Вт, $r = 0$ $R_{ст} = 3$ м ² °C/Вт, $r = 0$ $R_{ст} = 5$ м ² °C/Вт, $r = 0$ $R_{ст} = 5$ м ² °C/Вт, $r = 0,5$ $r = 0,66$	2,08 1,05 0,85 0,58 0,49	1,83 0,97 0,80 0,53 0,44	1,61 0,90 0,76 0,49 0,40

Если при этом одновременно снизить вентиляционные теплотери в два раза, с помощью теплообменника-регенератора, то суммарные теплотери снизятся на 45...60%, то есть экономия теплоты увеличится в 2 – 3 раза. При снижении теплотерь от вентиляции в 3 раза, суммарные теплотери здания снова снижаются в два раза. Таким образом повышение теплозащиты зданий от $R_{ст} = 3$ до 5 м²°C/Вт дает наибольшие эффекты только при одновременном снижении вентиляционных теплотерь. Это значит, что рекуперация тепла вентиляционных потоков является обязательным условием теплосбережения в районах с холодным климатом или для зданий с усиленной теплозащитой.

Вывод и рекомендации. Анализ теплотехнических показателей жилых зданий позволяет сделать ряд общих рекомендаций, направленных на снижение нормативных теплотерь зданий в 1,5 – 2,5 раза, особенно для зданий расположенных в суровых климатических районах России. Экономии теплоты способствуют:

1. Рекуперация теплоты в системе приточно-вытяжной вентиляции жилых зданий вообще и особенно для зданий в районах Крайнего Севера.

2. Укрупнение размеров зданий за счет уменьшения их количества.
3. Сверхнормативное повышение термического сопротивления наружных ограждений коттеджей и малоквартирных зданий.
4. Кубическая, цилиндрическая или купольная форма небольших зданий высотой в 2 – 3 этажа.
5. Совместное использование указанных способов экономии тепла.

Список литературы

1. Водяные тепловые сети. Справочное пособие по проектированию. Под ред. Н.К. Громова. – М. Энергоатомиздат, 1988. 376с.
2. Щекин, Р. В. Справочник по теплоснабжению в гражданском строительстве / Р. В. Щекин и др. – Госиздат. Киев. 1962. 1020 с.
3. Соколов, Е. Я. Теплофикация и тепловые сети. Учебник для вузов. 6-е изд. / Е. Я. Соколов – Энергоиздат. 1982. – 360с.
4. СП.50.13330.2012. Тепловая защита зданий. – Введ. 2013-07-01. – Москва, 2012. – 139 с.
5. Ливчак, И. Ф. Обоснование расчета удельных показателей расхода тепла на отопление разноэтажных жилых зданий / И. Ф. Ливчак – АВОК – 2008 №2.
6. Ливчак, В. И. Еще один довод в пользу повышения теплозащиты зданий/ В. И. Ливчак // Энергосбережение.- 2012. - № 6. – С. 14 – 20.
7. Малявина, Е. Г. Теплотери здания. Справочное пособие / Е. Г. Малявина. – 2 изд., испр. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2011. – 144 с.
8. Пиир А. Э. Нормативный коэффициент теплопередачи жилого здания / А. Э. Пиир, О. А. Козак, И. М. Агафонов // Известие вузов и эо СНГ Энергетика.- 2015. - №5. – С. 69 - 76.
9. СП.131.13330.2012. Строительная климатология. – Введ. 2013-01-01. – Москва, 2012. – 113 с.
10. АВОК Стандарт-1 – 2004. Здания жилые и общественные. Нормы воздухообмена. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2004.

П. И. Каргапольцев

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ГРАФИКА НА ЭКОНОМИКУ ПРОИЗВОДИТЕЛЯ ТЕПЛА И ЭКОНОМИКУ ПОТРЕБИТЕЛЯ

Представлено описание и анализ существующих температурных графиков. Произведён примерный расчёт показателей при переходе с графика 150/70 на другие различные графики. На основе полученных данных выбран наиболее подходящий.

Температурный график это основа технической и экономической области крупной теплоэнергетической системы города. При организации теплоснабжения огромного числа потребителей от тепловых сетей города, объединяющих различные виды источников тепла (ТЭЦ, котельные), необходимо разработать единый технологический документ, который учитывает интересы всех сторон теплоэнергетического процесса: потребителей, производителей тепловой энергии, наладчиков гидравлических и температурных режимов тепловых сетей, регулирующих органов, проектировщиков систем отопления.

За счёт подключения новых потребителей и строительства новых участков тепловых сетей система централизованного теплоснабжения с момента ввода в эксплуатацию нуждается в постоянном развитии. В связи с этим на каждый конкретный отопительный сезон нужно рассчитывать и скорректировать эксплуатационные режим, который учитывает фактическое состояние системы теплоснабжения. Оптимизация эксплуатационных режимов, которая непосредственно предусматривает наиболее полное использование характеристик установленного оборудования, использование по возможности кольцевой системы теплоснабжения, то есть от нескольких источников теплоты, ликвидация мелких неэкономичных котельных, а также увеличение пропускной способности сетей по теплоте, за счёт применения высоких температурных графиков регулирования отпуска теплоты.

Для упорядочивания отношений теплоснабжающих предприятий и потребителя заключаются договоры на теплоснабжение. В них определены права, ответственность и обязанности сторон, основные технологические: максимальная часовая нагрузка и отпуск тепловой энергии с разделением на

отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение (месячная и суммарно за год). По заключённым договорам предприятие формирует задание, согласно которому , должно выдерживать необходимые технологические параметры по отпуску тепловой энергии.

Рассмотрим примерные технико-экономические показатели теплоснабжающего предприятия крупного города (табл.1).

Таблица 1

Режимы работы тепловых сетей от теплового источника на отопительный сезон

Показатель	Разм.	Теплоисточник
Температурный график	°С	150/70
Максимальный среднесуточный часовой расход воды в подающих магистралях	т/ч	6409,7
Максимальная среднесуточная часовая подпитка(без утечек)	т/ч	805,6
Нормативные утечки	т/ч	105,3
Максимальная подпитка	т/ч	1877,6
Максимальный среднечасовой расход тепла	Гкал/час	435,0

В зависимости от температуры наружного воздуха в теплосеть должна подаваться сетевая вода с температурой в подающем трубопроводе, определяемой согласно утверждённому на предприятии температурному графику(150/70). Объём максимального среднесуточного часового расхода воды в подающих магистралях (6409,7) при соблюдении температурного графика должен соответствовать максимальному среднечасовому расходу тепловой энергии – 435,0 Гкал/час.

Согласно полученной величине максимального среднечасового расхода тепла (435,0 Гкал/час) максимальный среднесуточный часовой расход воды в подающей магистрали (6409,7 т/ч) и подпитки теплосети (805,6 т/ч) должен обеспечить заявленный температурный график. В результате перепроверки получается несоответствие.

Далее мы рассмотрим возможные результаты пересчёта отпуска тепловой энергии при разных температурных графиках, максимальных среднесуточных часовых расходах теплоносителя в тепловой сети , приведённых в табл.2.

Условие: расход – постоянный, отпуск тепловой энергии – изменяется.

Таблица 2

Расчётный отпуск энергии при разных температурных графиках

Температурный график	170/70	150/70	130/70	110/70
Расчётный отпуск теплоэнергии	696,6	568,4	440,2	312,0
Заданный отпуск	435,0			
Расчётный - заданный отпуск т/э	261,6	133,4	5,2	– 123,0
Увеличение, %	160,1	130,7	101,2	71,7

1. Так при сохранении объёмов расхода в подающей магистрали и подпитки, получается, что среднечасовой расход тепловой энергии потребителем (440,2 Гкал/час) будет соответствовать температурному графику 130/70.

2. При сохранении объёмных показателей расхода тепловой сети получается, что при соблюдении утверждённого руководством предприятия графика 150/70 максимальный часовой расход тепловой энергии будет составлять 568,4 Гкал/час, что на 30,7 % больше утверждённого.

3. При переходе на пониженный температурный график 110/70 максимальный среднечасовой расход тепловой энергии будет составлять всего 312,0 Гкал/час, что на 28,3 % меньше утверждённого.

Условие: расход – изменяется, отпуск тепловой энергии – постоянный.

Таблица 3

Расчётный максимальный расход в прямой при разных температурных графиках

Температурный график	170/70	150/70	130/70	110/70
Заданный отпуск теплоэнергии	435			
Среднесуточный максимальный расход в прямой, т/час	3794,1	4742,7	6323,6	9485,3
Заданный расход в прямой	6409,6	6409,6	6409,6	6409,6
Перерасход теплоносителя	168,9	135,1	101,4	67,6

Исходя из полученных данных, можно сделать выводы:

1. график 170/70 -расход уменьшится на 68,9%;
2. график 110/70 расход увеличится на 67,7 %.

Одним из важнейших параметров при производстве тепла является температура обратной сетевой воды. Небольшие затраты со стороны потребителей - с другой стороны снижении температуры обратной сетевой

воды. Это достигается за счёт уменьшения теплопотерь, диаметров трубопровода, а также снижение затрат на электроэнергию при перекачке воды.

При реальных условиях температура в подающем трубопроводе (при температуре -37°C для Омска) составляет 113°C . При этом потребитель тепла должен обеспечить температуру в обратном трубопроводе не выше $64,6$. При этом реально она достигает 55°C .

Полученные результаты технико-экономического анализа показали что самым экономичным по первоначальным затратам является график 150/70.

При переходе с графика 150/70 на 110/70 рост первоначальных капиталовложений в 2 раза. Это происходит за счёт увеличения диаметра трубопровода.

Также при переходе на график 110/70 происходит рост расхода сетевой воды в 2 раза, а рост перепадов давления происходит примерно в 2 раза.

Исходя из проведенного анализа, можно сделать выводы:

1. график 150/70 является оптимальным температурным графиком по первоначальным капиталовложениям;
2. при корректировке температурного графика возможно небольшое снижение обратной сетевой воды, что приведёт к снижению затрат на электроэнергию при перекачке сетевой воды;
3. реальные температуры при передаче тепла не соответствуют заявленным.

Список литературы

1. Соколов, Е. Я. Теплофикация и тепловые сети / Е. Я. Соколов – М. МЭИ. 1999г.
2. Шарапов, П. В. Регулирование нагрузки систем теплоснабжения / П. В. Шарапов – М. Издательство «Новости теплоснабжения». 2007.
3. Расчёт температурного графика теплоснабжения [Электронный ресурс] URL: <http://teplosniks.ru/teplosnabzhenie/raschet-temperaturnogo-grafika-teplosnabzheniya.html> (Дата обращения 10.03.17).
4. СП 124.13330.2012 Тепловые сети [Текст]. Актуализированная редакция СНиП 41-02-2003 – М.: Минрегион России. – 2012. 213с.

Д. А. Чуриков, А. П. Стариков

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ КОММУНАЛЬНЫХ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

В статье рассмотрены основные методы оценки эффективности коммунальных тепловых сетей, так же выделены их основные преимущества и недостатки. Обоснован выбор коэффициентов для мониторинга систем теплоснабжения. Предложен перечень основных решений по модернизации теплосетей на основе значений критериев.

Развитие и реформирование систем коммунального теплоснабжения в условиях ограниченности муниципальных и федеральных бюджетов являются одними из наиболее острых проблем модернизации малой теплоэнергетики России. Однако, нередко случаи нерационального использования имеющихся финансовых ресурсов при реконструкции существующих систем теплоснабжения или строительстве новых, например: подбор основного оборудования по принципу полного аналога заменяемого агрегата (котла, насоса, диаметра магистрального трубопровода и т. д.) или обновление системы централизованного теплоснабжения в зоне с крайне низкой плотностью нагрузки и преобладанием индивидуального теплоснабжения. Ввиду значительных затруднений по привлечению инвестиций в отрасль оценка текущего состояния объектов и определение направления их дальнейшего развития выходит на первый план при подготовке мероприятий по повышению эффективности.

При рассмотрении любой системы централизованного теплоснабжения больше внимания уделяется источникам теплоснабжения, и существует множество методов оценки текущего состояния, прогнозирования перспектив, выявления слабых мест. Тогда как тепловые сети в меньшей степени подвергаются оценке технико-экономических показателей за исключением года прокладки трубопроводов или их степени износа, объема тепловых потерь и количества аварий за отопительный период. Вышеуказанных параметров недостаточно в случаях решения задач оптимизации при объединении систем теплоснабжения нескольких источников тепловой энергии, подключении или отключении абонентов от изолированной системы теплоснабжения. В подобных ситуациях необходимо также учитывать пропускную способность

тепловой сети. Ввиду отсутствия нормативных документов и регламентирующих методик оценки загруженности систем транспорта тепловой энергии сформировались три равнозначных подхода к оценке технико-экономических показателей тепловых сетей и сравнению систем теплоснабжения:

1. с использованием коэффициента загрузки тепловых сетей, представляющего собой отношение подключенной нагрузки к общей протяженности трубопроводов тепловых сетей;

2. с использованием двухфакторной модели, основанной на коэффициенте загрузки тепловой сети (отношение фактически достигнутого максимального часового отпуска теплоты потребителям к расчетной тепловой нагрузке потребителей) и коэффициенте использования пропускной способности тепловых сетей (отношение фактического расхода сетевой воды к расчетному расходу, необходимому для транспортировки фактической тепловой нагрузки при расчетном температурном графике);

3. с использованием трехфакторной модели, основанной на коэффициенте циркуляции теплоносителя (отношение количества отпущенной тепловой энергии к массе теплоносителя, возвращенного на источник теплоснабжения), коэффициенте загрузки трубопровода (скорость течения воды) и коэффициенте эффективности теплоизоляции трубопровода (отношение потерь тепловой энергии за период к площади поверхности трубопроводов и градусу потери температуры).

Каждый из вышеперечисленных методов имеет свои преимущества и недостатки, если рассматривать их с позиции применимости для оценки систем коммунального теплоснабжения.

К преимуществам первого подхода можно отнести его предельную простоту – для определения ключевого показателя сравнения необходимо знать только подключенную нагрузку и протяженность трубопроводов тепловых сетей. Эти параметры легко найти в энергетических паспортах объекта, топливных балансах муниципальных образований, ежегодных отчетах в органы тарифного регулирования.

В качестве недостатков можно отметить то, что оптимальные значения коэффициента загрузки тепловых сетей (5-7 МВт/км) [1] определены эмпирически для тепловых сетей крупных теплогенерирующих комплексов: городских ТЭЦ или районных котельных, что не подходит для оценки коммунальных систем теплоснабжения. К тому же данный показатель

оценивает плотность тепловой нагрузки в зоне действия системы теплоснабжения, оставляя без внимания пропускную способность трубопроводов.

Этот способ может быть использован в качестве экспресс-оценки загруженности тепловых сетей коммунальных систем теплоснабжения.

Второй метод является более сложным, чем первый, но позволяет оценить пропускную способность тепловой сети по ее загруженности подключенными нагрузками и расходу теплоносителя. С помощью приведенных коэффициентов становится возможным определить наличие недоотпуска тепловой энергии в системе теплоснабжения, что может свидетельствовать о необходимости наладки теплосетей, а также о соответствии реального и расчетного (проектного) температурных графиков. Такая информация необходима эксплуатирующим организациям для оптимизации расходов на транспортировку тепла в части температурного или гидравлического режимов [2].

Однако, на вопросы о том, какая система теплоснабжения имеет возможность присоединения перспективной нагрузки или в каком случае имеет смысл отказаться от централизованного теплоснабжения в пользу индивидуального, применение такой методики ответа дать не может.

Третий метод основан на следующих коэффициентах:

1. коэффициент циркуляции теплоносителя, позволяющий определить эффективность использования теплоносителя для транспорта тепловой энергии;
2. коэффициент загрузки трубопровода, позволяющий определить уровень загруженности трубопровода и оптимальную скорость течения теплоносителя;
3. Коэффициент эффективности теплоизоляции трубопровода.

Автор данной методики предлагает определять данный параметр как произведение усредненной массы теплоносителя, прошедшего через обратный трубопровод, и отношения разности средневзвешенных температур на источнике и у потребителя к площади трубопровода и средней разности температур в подающем и обратном трубопроводах источника.

Ранжирование рассчитанных значений данных коэффициентов позволяет оценить состояние конкретной сети не только в целом, но и каждого участка в отдельности. Использование в методике фактических, а не расчетных показателей, обеспечивает высокую точность и достоверность полученных

результатов. Таким образом, поиск наиболее оптимального пути развития системы теплоснабжения значительно упрощается.

К главным недостаткам данного способа можно отнести его сложность, что очень критично вследствие дефицита кадров в отрасли коммунального теплоснабжения, а так же низкую оснащенность котельных и теплосетевых объектов приборами учета тепловой энергии, на которых основан расчет основных показателей третьего метода оценки эффективности.

Этот способ наиболее полезен для протяженных тепловых сетей больших источников тепловой энергии в городах, где, зачастую, нет проблем ни с обеспечением специалистами высокого уровня, ни с наличием мощной вычислительной техники, ни с установкой и обслуживанием теплосчетчиков.

Таким образом, для оценки эффективности коммунальных тепловых сетей наиболее подходящим является второй способ, если его дополнить показателем удельной материальной характеристики тепловых сетей. Данный параметр позволит определить плотность тепловой нагрузки в зоне действия тепловой сети и наличие резерва или дефицита пропускной способности трубопроводов.

Авторами статьи предлагается ввести безразмерный коэффициент удельной материальной характеристики, представляющий собой отношение фактической удельной материальной характеристики тепловой сети к среднему значению для зон действия систем теплоснабжения с низкоплотной тепловой нагрузкой – $150 \text{ м}^2/(\text{Гкал/ч})$.

На основе значений трех показателей: коэффициента загрузки тепловой сети, коэффициента использования пропускной способности тепловых сетей и коэффициента удельной материальной характеристики тепловой сети становится возможным не только оценка и ранжирование тепловых сетей по их эффективности, но и выбор направления модернизации системы теплоснабжения. К таким направлениям можно отнести принятие решения о наладке гидравлического режима теплосети, корректировке температурного графика, перекладке отдельных трубопроводов с изменением диаметра или изменением зоны действия (присоединение дополнительных потребителей либо отказ от централизованного теплоснабжения).

На рис. 1 приведен пример сравнения показателей эффективности тепловых сетей котельных г. Тара. Также приняты следующие обозначения: K1 – коэффициент загрузки тепловой сети; K2 – коэффициент использования

пропускной способности тепловых сетей; K_3 – коэффициент удельной материальной характеристики.

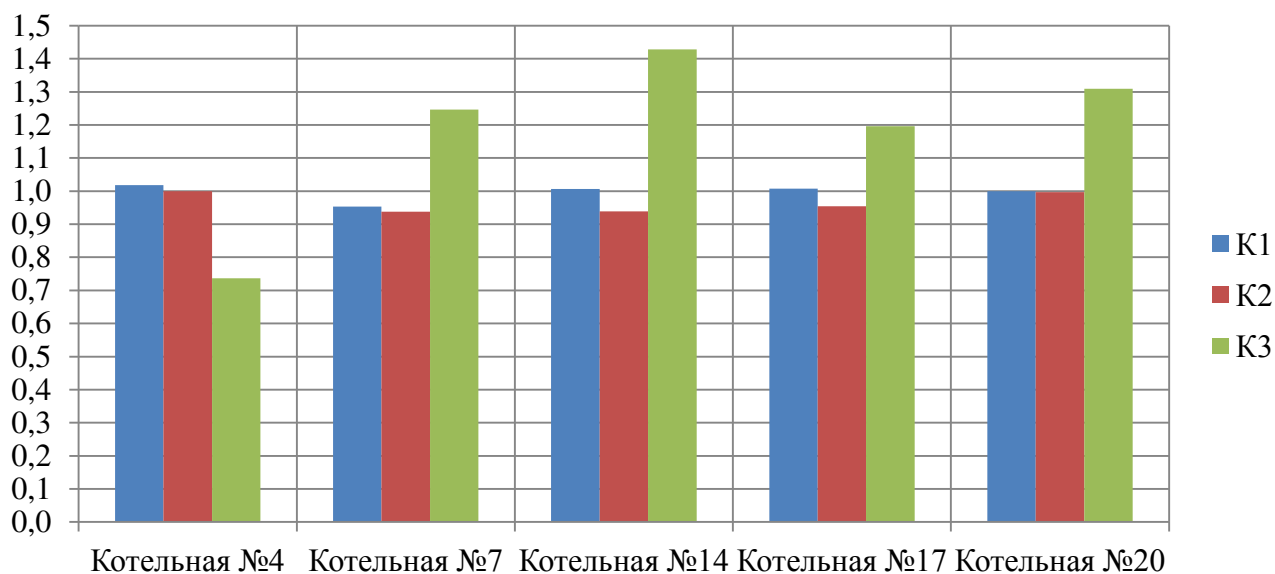


Рис. 1. Пример расчета коэффициентов эффективности тепловых сетей

Исходя из полученных значений коэффициентов, можно судить о наличии незначительных отклонений ($0,9 < K_1 < 1,1$) от расчетных тепловых нагрузок в теплосетях котельных №4 и №7, что потребует проведения наладочных мероприятий: установка регуляторов, замена арматуры и смесительных устройств, удаление воздушных пробок и т. д.

Коэффициент использования пропускной способности тепловых сетей по всем пяти системам теплоснабжения находится в пределах нормы ($0,9 < K_1 < 1,1$). Однако, теплосети котельных №7, №14 и №17 недогружены по расходу, что свидетельствует о перегреве теплоносителя, вследствие чего тепловые потери превышают норматив.

Возможностью для подключения перспективных потребителей к собственным тепловым сетям обладают котельные №7, №20, №14, №17 ($K_3 > 1,2$), а система теплоснабжения котельной №4 резерва присоединения не имеет ($K_3 < 0,8$) и требует перекладки отдельных участков трубопроводов.

Использование такого метода оценки эффективности систем теплоснабжения благодаря своей прозрачности и относительной простоте может пойти на пользу не только контролирующим органам и тарифным организациям, но и самим теплоснабжающим организациям, в том числе для работы с потенциальными инвесторами и потребителями.

Список литературы

1. Лиховоз, И. И. О реконструкции системы теплоснабжения Севастополя [Текст] / И. И. Лиховоз // Новости теплоснабжения / Издательство «Новости теплоснабжения». – Москва. – 2000. – №3 (03). – С. 8 – 10.
2. Яковлев, Б. В. Выбор оптимального проектного и эксплуатационного температурного графика системы теплоснабжения [Текст] / Б. В. Яковлев – М.: Издательство «Новости теплоснабжения», 2008. – 40 с.
3. Папушкин, В. Н. Радиус теплоснабжения. Хорошо забытое старое [Текст] / В. Н. Папушкин // Новости теплоснабжения / Издательство «Новости теплоснабжения». – Москва. – 2010. – №09 (121). – С. 44 – 49.
4. Актуальные задачи коммунальной теплоэнергетики Омского региона / В. Р. Ведрученко, В. В. Крайнов и др. // Омский научный вестник. – 2006. – № 4(38). – С. 104–108.

УДК 621.311

А. С. Гусаров, В. В. Овсянников

ЗАВИСИМОСТЬ ТЕРМИЧЕСКОГО КПД КОМБИНИРОВАННОГО ЦИКЛА С ОТБОРОМ ПАРА ОТ НАЧАЛЬНЫХ И КОНЕЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧЕГО ТЕЛА

Получены результаты расчета эффективности работы паротурбинной установки по комбинированному циклу, установлены зависимости термодинамической эффективности цикла от начальных и конечных параметров пара.

При разработке информационного обеспечения по автоматизированному контролю режимов паросиловой установки работающей по комбинированному циклу с отбором пара на теплофикационные нужды, необходимо располагать данными о критерии оценки эффективности осуществляемого рабочего процесса, а также иметь представление о влиянии параметров пара на величину этого критерия.

В качестве такого критерия оценки в работе [1] предлагается термический КПД комбинированного цикла с отбором пара, составленный с учетом необратимости в процессе расширения пара в проточной части турбины. Рабочий цикл показан в координатах T-S на рис. 1.

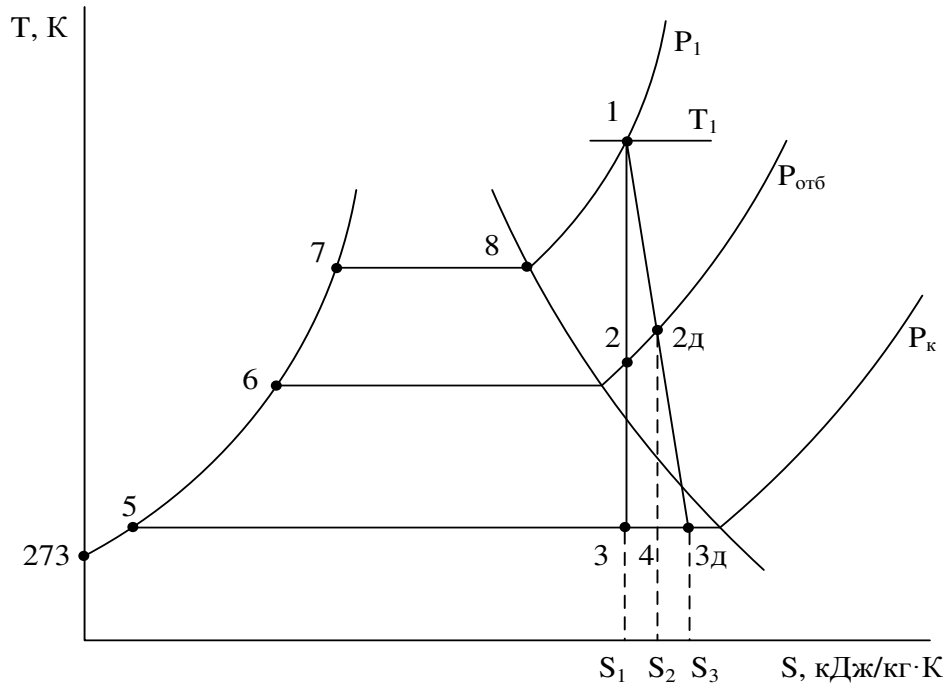


Рис. 1. Комбинированный цикл с одним отбором пара в диаграмме T-S

Получены формулы для расчета термического КПД комбинированного цикла:

а) без учета необратимости в процессе расширения пара в проточной части турбины

$$\eta_t^T = \frac{(h_1 - h_3) - (h_2 - h_3)\gamma_2}{(h_1 - h_5) - (h_6 - h_5)\gamma_2}; \quad (1)$$

б) с учетом необратимости с помощью относительных внутренних коэффициентов $\eta_{oi}^{отб}$ и $\eta_{oi}^{конд}$ соответственно для отборной и конденсационной частей проточной частей турбины

$$\eta_t^H = \frac{(h_1 - h_2)\eta_{oi}^{отб}\gamma_2 + (h_1 - h_2)\eta_{oi}^{конд} - (h_1 - h_3)\eta_{oi}^{конд}\gamma_2}{(h_1 - h_5) - (h_6 - h_5)\gamma_2}; \quad (2)$$

в) то же, что и по пункту б), но с учетом использования теплоты отборного пара с эффективностью 95%, названного условным КПД.

$$\eta_{t\text{yc}}^H = \eta_t^H + \frac{(h_{2Д} - h_6) \cdot 0,95\gamma_2}{(h_1 - h_5) - (h_6 - h_5)\gamma_2}. \quad (3)$$

В формулах (1), (2), (3) символом h указаны значения энтальпий рабочего тела в соответствующих точках цикла, γ_2 - доля расходуемого пара в отбор от общего количества на турбину.

С использованием этих формул проведено исследование влияния параметров пара на эффективность комбинированного цикла с отбором пара на

нужды теплофикации. Цель исследования – установить характер изменения термического КПД комбинированного цикла от изменения начальных и конечных параметров пара, а также от изменения давления отборного пара и его доли расходования в отбор, выяснить основные направления в реализации наиболее эффективных режимов работы турбины.

А. Влияние температуры перегрева пара.

Расчеты проводились в диапазоне изменения температуры перегрева пара от 350 °С до 650 °С с шагом 50 °С; давления пара принимались постоянными и равными, начальное – 10 МПа, в отборе – 0,6 МПа, в конденсаторе – 0,004 МПа. Доля расхода пара в отборе варьировалась в пределах 0 – 0,5. Потери в турбине на необратимость учитывались относительным внутренним КПД $\eta_{oi}^{отб} = \eta_{oi}^{конд} = 0,82$.

Данные расчетов приведены в виде графиков на рис. 2 и 3. Характер всех представленных кривых показывает, что с ростом температуры перегрева пара перед турбиной термический КПД комбинированного цикла с одним отбором пара возрастает, что согласуется с известной теоретической зависимостью термического КПД от температуры перегрева пара.

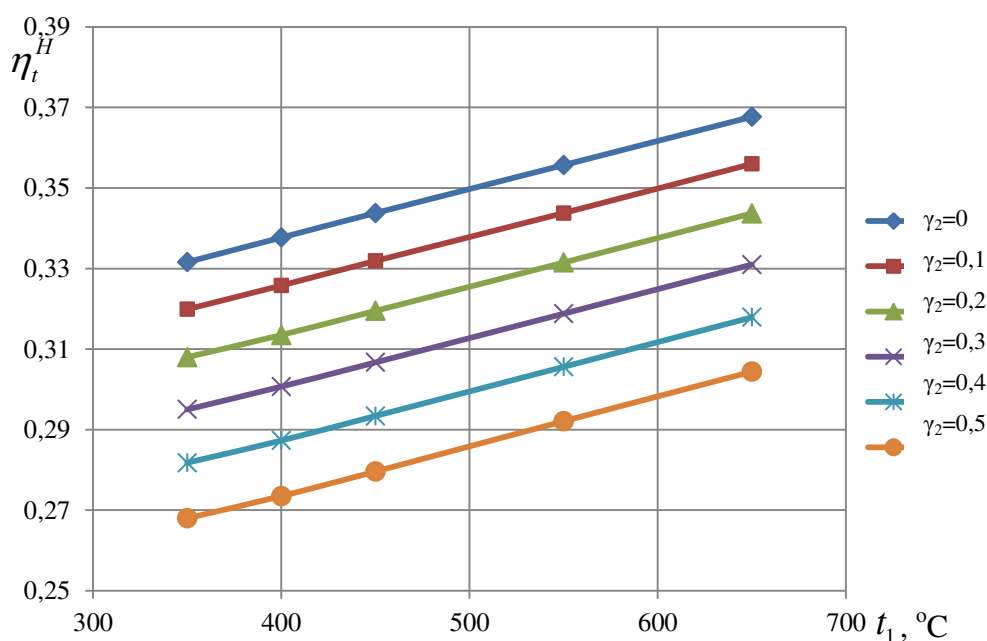


Рис. 2. Зависимость термического КПД комбинированного цикла с учетом необратимости η_t^H от температуры перегрева пара перед турбиной

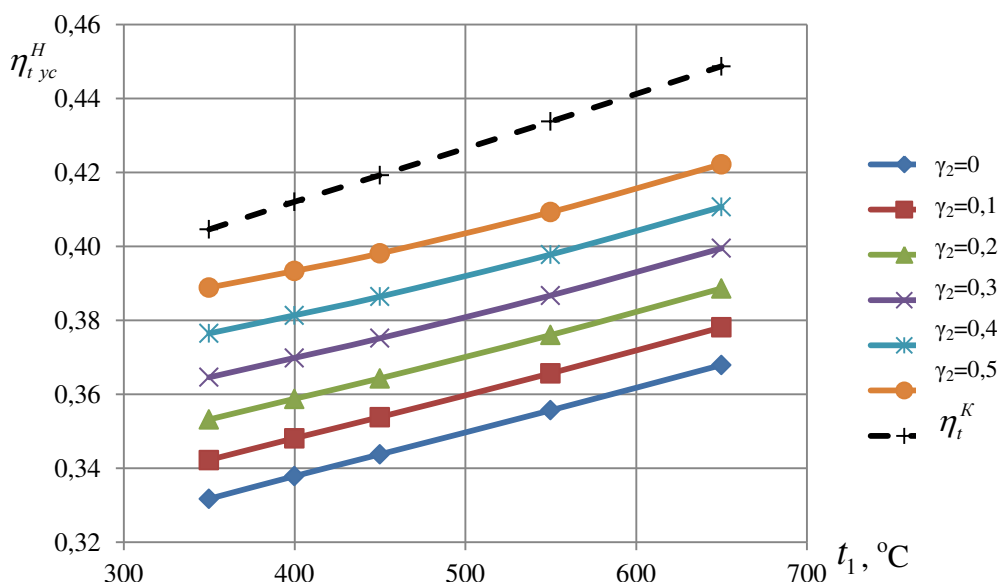


Рис. 3. Зависимость условного термического КПД комбинированного цикла с учетом необратимости $\eta_{t yc}^H$ от температуры перегрева пара перед турбиной

Наибольший термический КПД цикла с учетом необратимости η_t^H при $\gamma_2 = 0$, т.е. в случае, когда расход пара в отборе отсутствует. Но при увеличении γ_2 до 0,5 η_t^H принимает самые низкие значения. Это состояние, когда отбор турбины работал бы на «выхлоп». Однако при использовании тепла отборного пара на нужды теплофикации или другие полезные цели значения $\eta_{t yc}^H$ наибольшие и достигают, например, при температуре перегрева 550 °С значения около 41% (см. рис. 3, кривая с круглыми точками).

На рис. 3 показана штриховой линией зависимость η_t^K от температуры перегрева пара для $\gamma_2 = 0$, т.е. для конденсационного режима и без учета необратимости. В этом случае $\eta_t^T = \eta_t^K$. Таким образом можно сделать следующее заключение: а) если турбина работала бы по чисто конденсационному циклу и без учета необратимости, то зависимость КПД от температуры перегрева пара выстраивалась бы по штриховой кривой (см. рис. 3), что соответствует теоретическому КПД цикла Ренкина с водяным паром;

б) если учесть необратимость в рабочем течении пара в турбине, то значение термического КПД снижается, а зависимость от температуры перегрева пара будет соответствовать кривым без штриховки (γ_2) (при этом связь между штриховой кривой η_t^K и кривыми (γ_2) определяет соотношение $\eta_t = \eta_{t \gamma_2=0}^T = \eta_{t \gamma_2=0}^H \times \eta_{oi}$);

в) если же учесть необратимость и тепло пара, полезно расходуемого в отбор (например, при $\gamma_2 = 0,5$), то зависимость теперь уже $\eta_{t_{yc}}^H$ от температуры перегрева пара кривая для $\gamma_2 = 0,5$ приближается к штриховой кривой η_t^K теоретических максимально возможных значений термических КПД.

Степень приближения кривой (для $\gamma_2 = 0,5$) к штриховой кривой η_t^K определяется прежде всего величиной γ_2 доли пара, идущей в отбор турбины, а также тепловыми потерями в использовании отбираемого пара на цели теплофикации.

Степень приближения значений условного КПД комбинированного цикла с учетом необратимости $\eta_{t_{yc}}^H$ к пунктирной кривой можно оценить коэффициентом приближения ε_t , который вычислим по формуле:

$$\varepsilon_t = 1 - \frac{\eta_t^K - \eta_{t_{yc}}^H}{\eta_t^K} \quad (4)$$

Зависимость ε_t от доли пара в отбор γ_2 показана на рис. 6. При больших значениях γ_2 значения ε_t могут больше единицы, а самые малые значения соответствуют значению η_{oi} относительного внутреннего КПД при $\gamma_2 = 0$ принятого в расчетах.

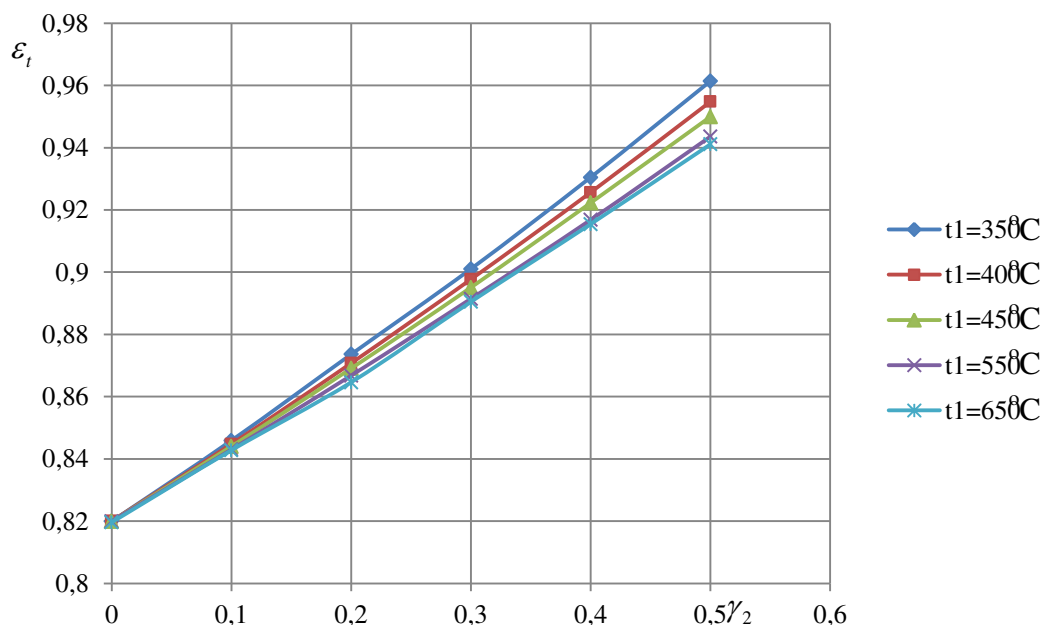


Рис. 4. Зависимость степени приближения ε_t от изменения γ_2

Из рис. 4 следует, что с ростом расход пара в отбор турбины γ_2 степень приближения ε_t условного термического КПД комбинированного цикла с учетом необратимости $\eta_{t_{yc}}^H$ возрастает. Однако при увеличении температуры

перегрева пара интенсивность роста ε_i снижается, что объясняется большим расходом в отбор более качественного пара, но не участвующим в совершении полной работы комбинированного цикла.

Б. Влияние давления пара перед турбиной

Для исследования давления пара перед турбиной параметры выбирались в диапазоне от 6 до 14 МПа с шагом 2 МПа, температура перегрева пара принималась равной 550 °С постоянной, а также постоянным было и давление пара за турбиной $P_k=0,004$ МПа.

Результаты расчетов представлены на рис. 5 и 6 при различных долях γ_2 расхода пара в отбор турбины. Зависимость термического КПД комбинированного цикла с учетом необратимости $\eta_{t\text{yc}}^H$ (рис. 5) от начального давления пара аналогична зависимости изменения теоретического значения термического КПД цикла Ренкина: чем выше давление пара, тем большее значение $\eta_{t\text{yc}}^H$. Причем и характеры этих кривых совпадают – с увеличением давления пара степень повышения КПД снижается.

На рис. 6 пунктиром показана кривая изменения термического КПД только конденсационного цикла без отбора пара и без учета необратимости: $\eta_t^K = f(P_1)$. Эта зависимость максимально возможная для термодинамического цикла с рабочим телом – водяной пар при одинаковых заданных прочих параметрах цикла.

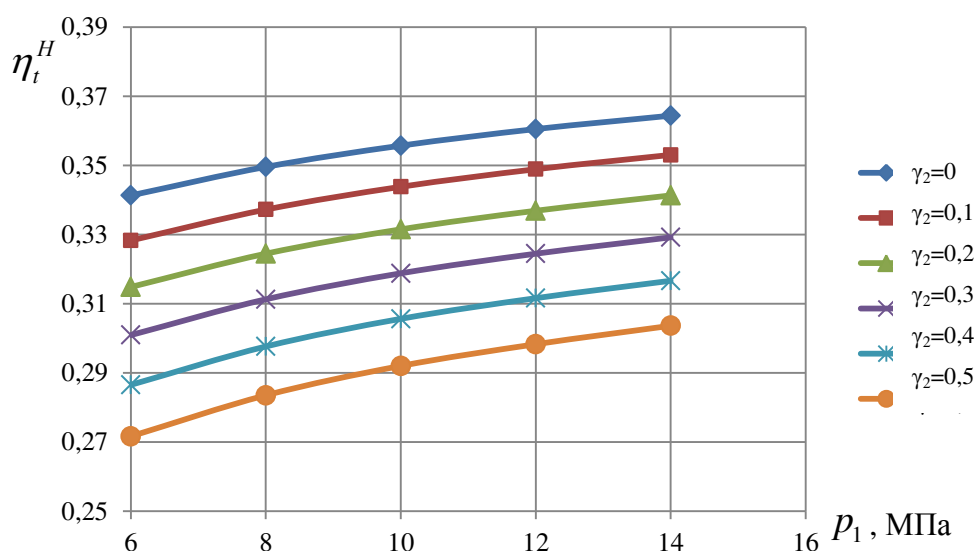


Рис. 5. Влияние давления пара перед турбиной на η_t^H термический КПД комбинированного цикла с учетом необратимости

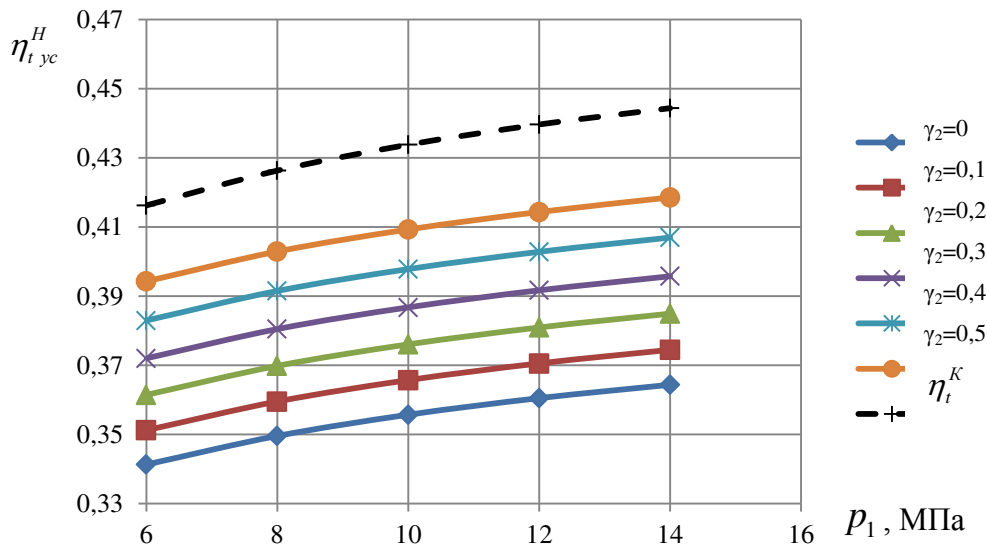


Рис. 6. Влияние давления пара перед турбиной на $\eta_{t\text{yc}}^H$ условный КПД комбинированного цикла

По результатам рис. 6 можно утверждать, чем больше доля пара в отбор турбины комбинированного цикла, тем ближе кривая с $\gamma_2 = 0,5$ (кривая с круглыми точками) к кривой максимально возможного КПД (штриховая кривая η_t^K).

Изменение степени приближения ε_{p1} к кривой ($\gamma_2 = 0,5$) от доли расхода пара в отбор турбины $\varepsilon_{p1} = f(\gamma_2)$ показаны на рис. 7. Из рис. 7 следует, что при повышении γ_2 , степень приближения ε_p тоже возрастает. Однако степень приближения к максимально возможному КПД снижается с ростом давления перегретого пара, это объясняется снижением участия всего пара в полной работе комбинированного цикла. При нулевом расходе в отбор степень приближения равна η_{oi} принятому в расчетах значению 0,82.

В. Влияние конечного давления пара в комбинированном цикле P_k .

В расчетах принимались значения начальных параметров пара $P_1=10$ МПа; $t_1=550$ °С. Конечное давление изменялось от 0,004 МПа до 0,1 МПа. На рис. 8 приведены зависимости $\eta_{t\text{yc}}^H$ от конечного давления P_k . Как и следовало ожидать, условный термический КПД комбинированного цикла с учетом необратимости $\eta_{t\text{yc}}^H$ имеет наибольшие значения в области малых значений P_k .

Здесь же на рисунке показана зависимость термического КПД от давления P_k идеального цикла Ренкина (пунктирная кривая 1), то есть кривая максимальных значений η_t^K . Наибольшее приближение к этой кривой имеет кривая 2 при расходе пара в отбор $\gamma_2 = 0,5$.

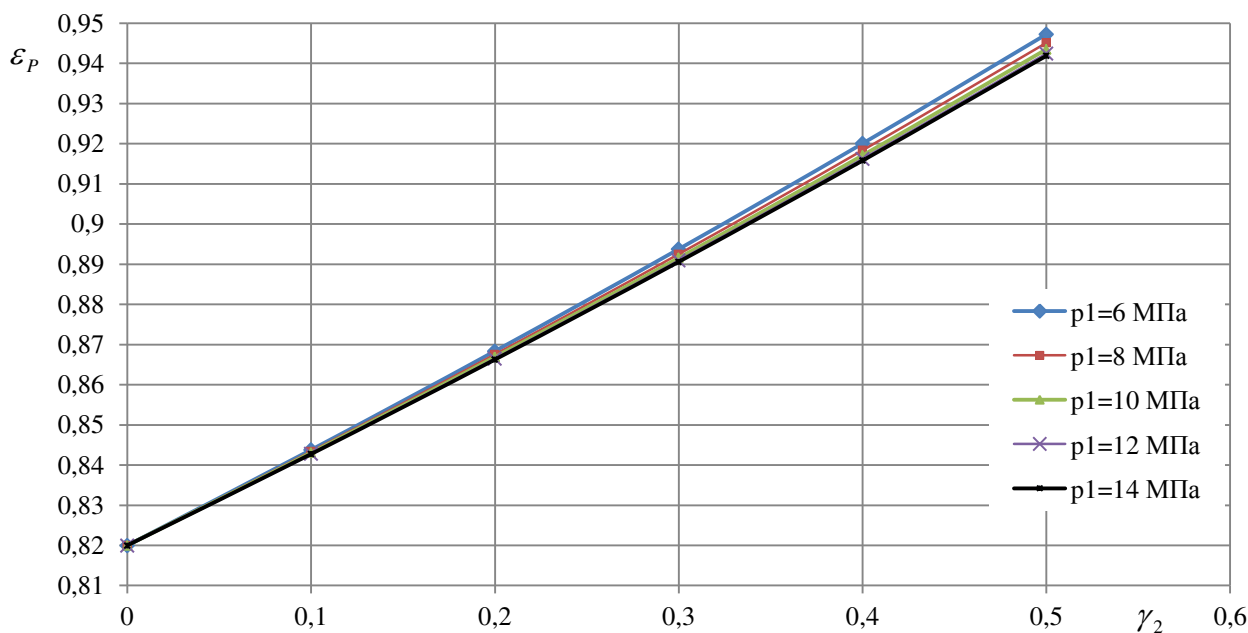


Рис. 7. Зависимость степени приближения ε_p от расхода пара в отбор турбины γ_2

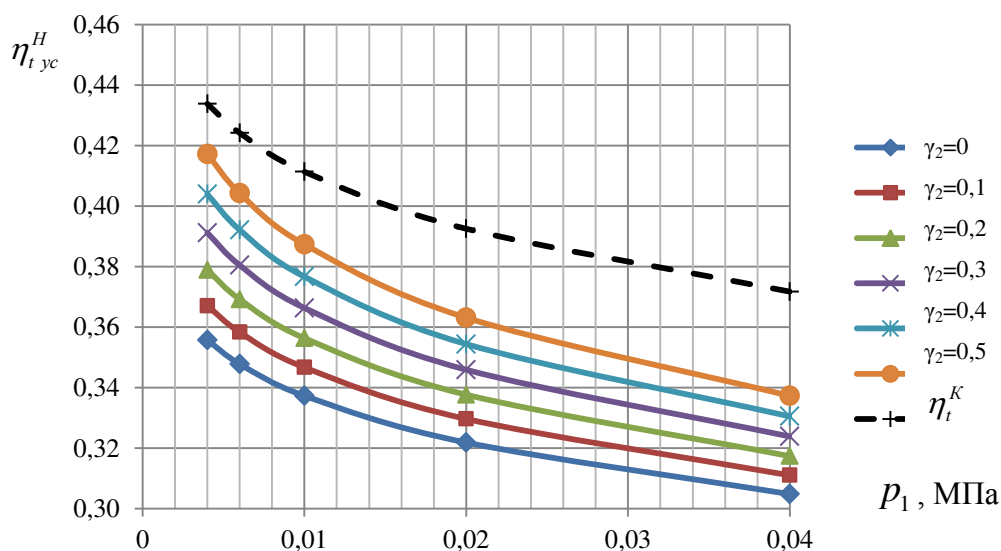


Рис. 8. Зависимость изменения $\eta^H_{t yc}$ термического КПД комбинированного цикла от конечного давления пара P_k

В качестве примера на рис. 9 приведены зависимости $\eta^H_{t yc}$ к максимально возможным значениям η^K_t по изменению γ_2 долей отбора пара. Из рисунка видно, что при изменении конечного давления P_k существенно изменяется степень приближения ε_{P_k} с возрастанием расхода пара в отбор турбины. Следовательно при снижении давления в конденсаторе P_k комбинированного цикла значительно увеличивается степень приближения $\eta^H_{t yc}$ к значениям η^K_t .

При нулевой нагрузке отбора степень приближения ε_{PK} равна $\eta_{oi} = 0,82$ принятому в расчетах.

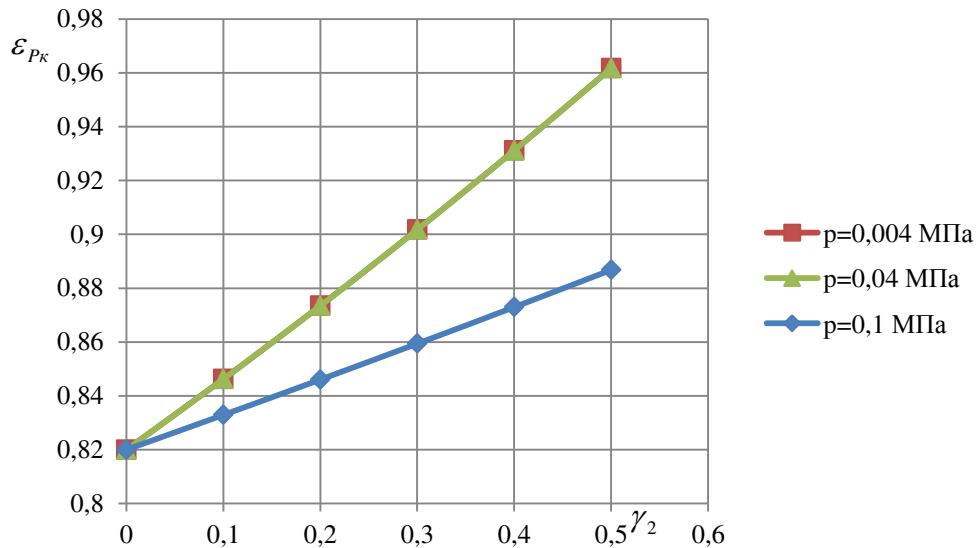


Рис. 9. Зависимости степеней приближения ε_{PK} к значениям η_i^K от расхода пара в отбор турбины γ_2

Г. Влияние давления пара в отборе $P_{отб}$.

Для оценки влияния этого фактора начальные и конечные параметры пара комбинированного цикла принимались постоянными ($P_1=10$ МПа; $t_1=550^\circ\text{C}$; $P_K=0,004$ МПа). Изменилось лишь давление пара в отборе $P_{отб}$ в диапазоне от 0,1 до 1,0 МПа с шагом 0,2 МПа.

Для конденсационного режима при $\gamma_2=0$ для принятых параметров пара термический КПД будет постоянным и равным $\eta_i^K=0,4338$. При отсутствии расхода пара в отбор значение $\eta_{i_{yc}}^H$ будет определяться лишь влиянием необратимости и в этом случае справедливо равенство: $\eta_i^H = \eta_{i_{yc}}^H = \eta_i^K \cdot \eta_{oi}$. Поэтому при $\gamma_2=0$ $\eta_{i_{yc}}^H = 0,4338 \cdot 0,82 = 0,3557$ при всех значениях давления $P_{отб}$.

Результаты расчетов представлены на рис. 10.

Из рисунка видно, что с ростом давления отборного пара условный КПД комбинированного цикла с учетом необратимости повышается. Наибольшее повышение КПД достигается в случае большей доли расхода пара в отбор, т.е. при $\gamma_2=0,5$. Однако интенсивность повышения КПД для больших давлений отбираемого пара становится ниже, так как большим давлениям пара термодинамически соответствуют меньшие значения теплоты парообразования.

В литературе [2, 3] известен цикл паросиловой установки под названием – теплофикационный цикл. В работах [4, 5] приведены сведения о технологии

реализации в условиях практики таких циклов в паротурбинных установках с отбором пара на нужды теплофикации. Цикл получил название как комбинированный цикл производства тепловой и электрической энергии.

Однако сведений о термодинамической оценке эффективности теплофикационного цикла оказалось недостаточно.

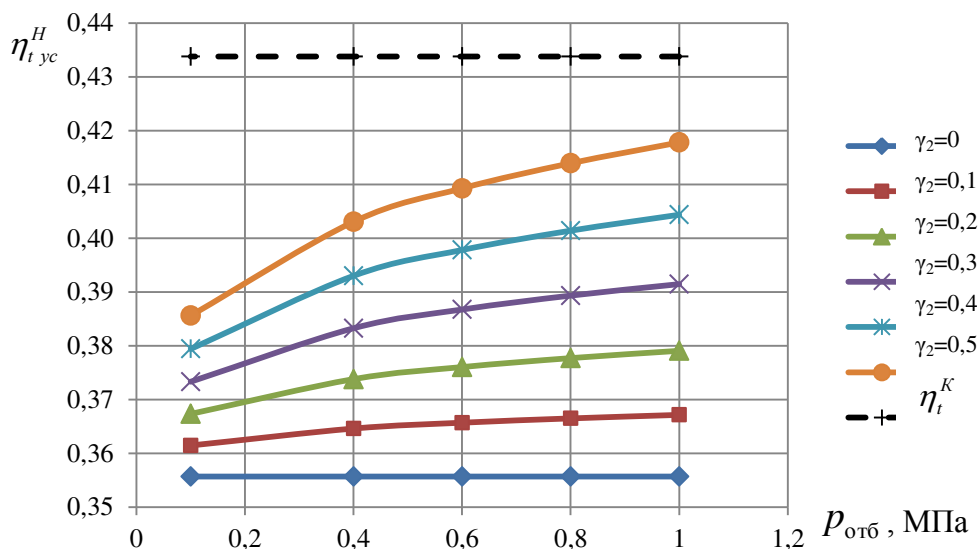


Рис. 10. Зависимость изменения $\eta_{t,yc}^H$ от давления пара в отборе $P_{отб}$

В работе [1] впервые получены выражения по определению термического КПД теплофикационного цикла, а в настоящей работе дан термодинамический анализ работы паротурбинной установки, в которой осуществляется теплофикационный цикл, установлены термодинамические соотношения влияния начальных и конечных параметров пара, величины отборов пара из рабочего потока турбины на теплофикационные цели.

Полученные данные в определенной степени дополняют термодинамический анализ теплофикационного цикла, что позволит определить технические приоритеты в повышении эффективности работы паротурбинных установок и в разработке автоматизированного обеспечения в управлении их работой.

Список литературы

1. Гусаров, А. С. О влиянии необратимости в термодинамическом цикле паротурбинной установки с отбором пара на его термический КПД / А. С. Гусаров, В. В. Овсянников // Энергетика и теплотехника: сб. науч. трудов

под ред. Акад. РАН В. Е. Накорякова. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2016. – Вып. 20. – с. 183-188.

2. Кириллин, В. А. Техническая термодинамика / В. А. Кириллин, В. В. Сычев, А. Е. Шейдлин – М.: «Энергия», 1968 г. – 472 с.

3. Теплотехника / В. Н. Луканин, М. Г. Шатров и др.; под. ред. В. Н. Луканина. – М.: Высш. Шк. 2000. – 671 с.

4. Тепловые электрические станции / под ред В. Я. Гиршфельда. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 328 с.

5. Соколов, В. Я. Теплофикация и тепловые сети / В. Я. Соколов – М.: Издательство МЭИ, 2001. – 472 с.

УДК 621.182

А. О. Чаплак

ОПТИМИЗАЦИЯ ВОДНО – ХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

В статье предоставлены методы оптимизации водно-химического режима систем теплоснабжения на примере ТЭЦ-5 г. Омска.

Централизованная система теплоснабжения существует в России более 80-ти лет. За это время немало сделано для повышения надежности и эффективности ее работы, однако остается одна из проблем - транспорт тепла.

Причиной ухудшения качества материала трубопроводов являются коррозионные разрушения металла труб. Ранее считалось, что основной причиной разрушений является внешняя коррозия. Однако, проведя несколько анализов, был сделан вывод, что внутренняя коррозия так же приводит к разрушению материала.

Единственным наиболее эффективным методом предупреждения и снижения износа трубопроводов из-за внутренней коррозии является обеспечение оптимального водно-химического режима подготовки воды.

Обычно схемы ВПУ используют большое количество водообрабатывающих реагентов, вызывающих излишне высокое количество вредных в экологическом отношении сбросов, большой расход природных вод и в результате этого низкую эффективность эксплуатации.

Недостатком традиционных методов водоподготовки является то, что увеличивается агрессивность воды вследствие удаления из нее природных ингибиторов – солей жесткости. Кроме этого дополнительная обработка воды приводит обычно к снижению значения рН, уменьшению щелочности и повышению содержания агрессивной углекислоты. Снижение рН еще более увеличивает скорость коррозии металла и резко увеличивает содержание железа в сетевой воде, что является одной из причин интенсивного железистоокисного накипеобразования в теплообменном оборудовании.

Для обеспечения надежной долговечной и безаварийной работы системы теплоснабжения необходима качественная подготовка подпиточной воды. Особенно важное значение имеет водоподготовка в открытых системах теплоснабжения, где расход подпиточной воды велик.

Подпиточная вода теплосети не должна вызывать накипеобразования и шламоотделения в подогревателях, трубопроводах и местных системах, а также коррозию металла.

После открытия комплексонов как самостоятельного класса, их стали применять в промышленности и затем в энергетике. Первоначально комплексоны использовались только для умягчения воды, но спустя некоторое время были сделаны выводы, что их можно применять и для предотвращения коррозии.

Обработка воды комплексонами, основывается на том, что они имеют способность вступать во взаимодействие с солями кальция и магния, которые содержатся в воде, образуя устойчивые водорастворимые комплексоны.

Широкое применение для обработки воды имеют комплексоны типа ИОМС и ОЭДФ, но их недостатком является то, что при температуре воды выше 115-120°C они теряют свои свойства. Учитывая что температура воды за водогрейными котлами ПТВМ-180, установленными на ТЭЦ-5 может достигать 150°C, то применять эти ингибиторы нельзя.

Германской фирмой было предложено использовать ингибитор накипеобразования – Гилуфер-422. Хорошие температурные свойства реагента, обеспечивающиеся за счет того, что в состав его входит одна из самых термостабильных кислот, что позволяют гарантировать безнакипный режим оборудования до температур сетевой воды на выходе из котла 150 °C.

В воде с большим содержанием солей жесткости комплексоны образуют прочный комплекс с ионами кальция и магния, который блокирует направленный рост кристаллов накипи.

Присутствие в реагенте добавок – диспергаторов позволяет предотвращать железо-окисные отложения в системе.

Еще одним преимуществом использования данного реагента является то, что при его непрерывном дозировании медленно растворяются старые инкрустации.

Гилуфер-422 разрешен для использования в открытых и закрытых системах теплоснабжения, после исследования институтом медицины труда и ЦГСН Омской области. Данный продукт является безопасным для человека.

Технология основана на дозировании в подпиточную воду небольших количеств реагента (3 – 10 мг/л), ингибирующих процессы накипеобразования.

При обработке ингибиторами накипеобразования показатели качества воды (жесткость, щелочность, содержание сульфатов, содержание хлоридов) остаются такими же, как в исходной воде.

В настоящее время реагент Гилуфер 422 достаточно широко используется в России для подготовки теплосетевой воды на ТЭЦ и котельных.

В январе 2005 года, пройдя множество проверок и получив разрешение на использование ингибитора, на Омской ТЭЦ-5 начались промышленные испытания.

При обработке воды комплексоном Гилуфер-422 не требуется дополнительная обработка методами подкисления и натрий-катионирования. В результате этого значительно сокращается количество используемого для обработки воды оборудования, а, следовательно, уменьшается количество технологических операций.

В 2014 году было принято решение перехода Омской «ТЭЦ-5» на обработку воды схемы подпитки теплосети российским реагентом Акварезалт 1040. По программе импортозамещения с сентября 2015 года начались промышленные испытания по внедрению реагента Акварезалт 1040 для обработки воды теплосети.

Акварезалт – серия высокоэффективных многофункциональных реагентов для обработки воды в охлаждающих циклах и системах теплоснабжения, в том числе в открытых системах централизованного горячего водоснабжения, а также реагентов для контроля отложений в мембранных

аппаратах (установки обратного осмоса), в продуктивных горизонтах нефтяных и газовых скважин.

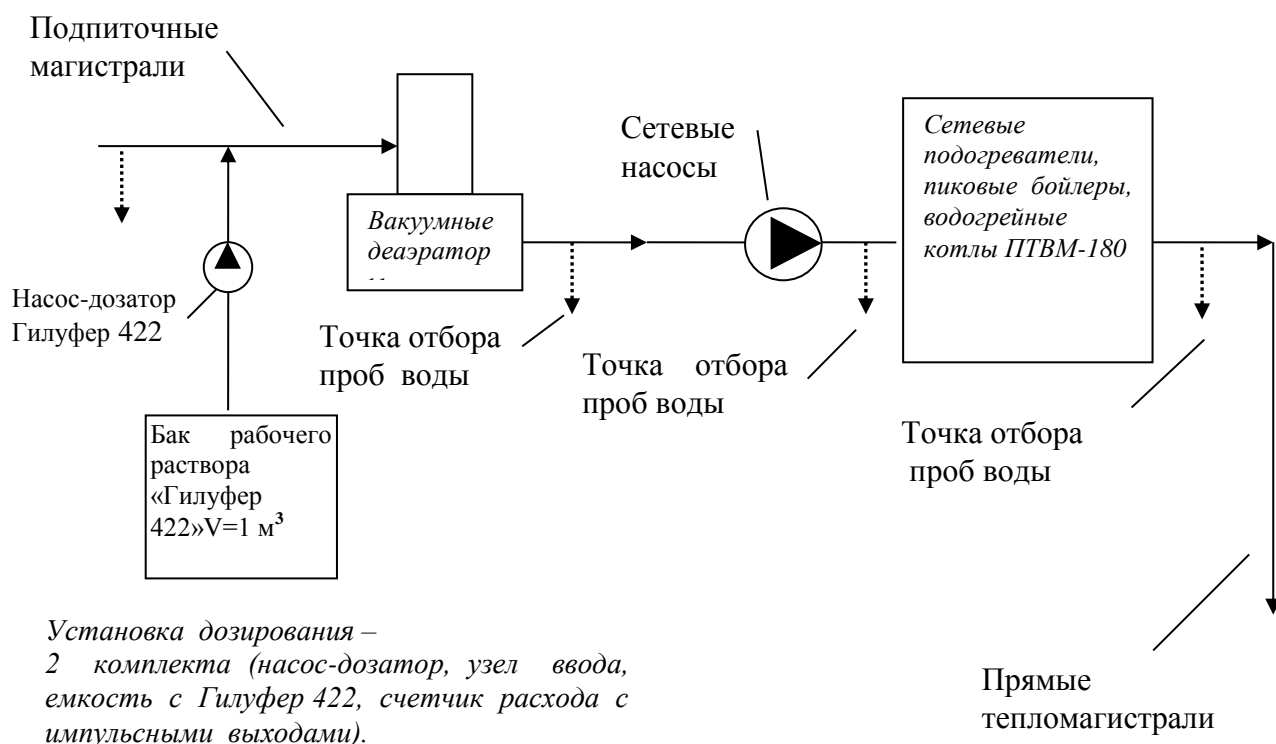


Рис. 1. Схема подготовки теплосетевой воды и основное оборудование

Механизм ингибирования коррозии реагентов серии Акварезалт состоит в образовании пассивирующей адсорбционной пленки на поверхности металла, состоящей из полиядерных фосфонокарбоксильных комплексов железа и кальция. Компоненты, входящие в состав Акварезалта способны встраиваться в структуру оксидного слоя на поверхности металла, постепенно уплотняя и упрочняя его, что делает его малопроницаемым для коррозионно-агрессивных ионов и кислорода.

В период проведения промышленных испытаний проводилось сравнение качества химочищенной воды и состояния трубопроводов теплосети (по результатам химических анализов) при обработке реагентами Гилуфер-422 и Акварезалт 1040.

Таблица 1

Сравнение экономического эффекта реагентов

Реагент	Удельный расход реагента, г/т	Расход выработанной воды, т	Количество реагента потраченного на обработку воды, т	Стоимость 1т реагента без НДС, тыс. руб.	Затраты на приобретение реагента, тыс. руб.
Гилуфер-422	3,35	5337,320	17,88	461,82	8 257,34
Акварезалт 1040	3,0	5337,320	16,0	267,0	4 275,19

По окончании промышленных испытаний были сделаны выводы, что применение реагента Акварезалт 1040 позволило на 48% снизить затраты на приобретение реагента; происходит снижение коррозии черных и цветных металлов, оборудования и технологического тракта (подтверждено методами химического контроля).

Список литературы

1. Водоподготовка и вводно-химические режимы в теплоэнергетике: Учебное пособие / Э. П. Гужулев, В. В. Шалай и др. – Омск: ОмГТУ, 2005. – 384 с.
2. Теплофикация и тепловые сети: учебник / Е. Я. Соколов – М: МЭИ, 2001. – 472 с.
3. Водоподготовка и водно-химический режим тепловых сетей / Н. П. Лапотышкина, Р. П. Сазонов – М: Энергоиздат, 1982. – 200 с.

УДК: 62-135/-136; 62-15

Ю. Н. Вивденко, И. Н. Княжев, С. В. Лазовский

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ БАЛАНСИРОВКИ РОТОРОВ ТУРБОМАШИН

В статье на основании обобщения известных методов балансировки узлов турбомашин и выполненных исследований предложена методика балансировки, при которой обеспечиваемый регламентируемый уровень колебаний ротора будет учитывать возможные возбуждаемые колебания лопаток и дисков.

Требования изготовления, эксплуатации и ремонта паровых и газовых турбин, осевых компрессоров и других машин с вращающимися деталями и узлами предусматривают динамическую балансировку этих частей.

В задачи балансировки входит устранение неуравновешенности масс вращающихся деталей и исключение превышения уровня их вибраций относительно нормативных значений. Уровень таких допустимых значений вибраций регистрируют разработчики этих машин [1].

Задачи обеспечения работоспособности турбомашин с учетом критического воздействия сил и формирования вибраций решают с учетом такого воздействия как на ротор в целом, так и отдельно: на вал, диски и

лопатки. Если частота возбуждающих колебаний совпадает с частотой собственных колебаний детали (узла), то возникающее явление резонанса способствует разрушению деталей. Такой уровень возбуждающих колебаний называется критическим [2].

Современное производство турбомашин, соответственно ГОСТ требует балансировки предусмотренной ГОСТ 20076-2007 (ISO 2953:1999). Настоящий стандарт устанавливает требования к представлению характеристик балансировочного станка изготовителем и методы проверки заявленных характеристик, требования к контрольным роторам и контрольным грузам.

По указанному ГОСТ контрольные роторы могут быть трех типов: А, В и С.

Тип А: Роторы без цапф, уравниваемые на вертикальных балансировочных станках.

Тип В: межопорные роторы с цапфами, уравниваемые на горизонтальных балансировочных станках.

Тип С: консольные роторы с цапфами, уравниваемые на горизонтальных балансировочных станках.

Также настоящий стандарт регламентирует проведение испытаний, требование к контрольным грузам и методы проверки минимально достижимого остаточного дисбаланса.

В общем случае частота вынужденных колебаний лопаток, дисков и валов ротора пропорциональна частоте вращения ротора.

Многие решения по снижению вибраций узлов турбин и компрессоров получают путем динамической балансировки роторов.

По известным данным, одним из наиболее эффективных методов является метод, включающий контроль уровня вибраций в заданных сечениях балансируемого объекта [3]. Балансируемый ротор устанавливается на установку и разгоняется электродвигателем до заданной частоты вращения. Вибрационные колебания снимаются датчиками в местах закрепления ротора в подшипниках. В результате испытаний мы получаем диаграмму на которой указаны точки дисбаланса.

Схема установки для регистрации уровня вибраций представлена на рис. 1.

Однако такое решение не всегда обеспечивает заданные минимальный уровень вибрации лопаток и других деталей, разрушение которых приводит к тяжелым последствиям.

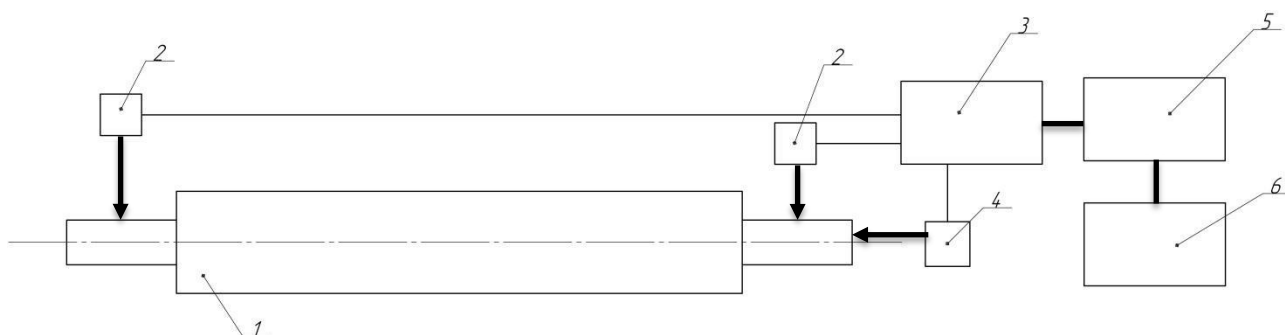


Рис. 1. Схема регистрации уровня вибраций и балансировки ротора:

1 – ротор, 2 – индукционные датчики, 3 – преобразователь сигнала, 4 – привод балансировки, 5 – регистратор сигнала, 6 – блок управления балансировкой

На основе выполненных исследований при назначении условий балансировки ротора предложены решения по учёту уровня колебаний расположенных на роторе деталей [4].

Параметры колебаний представляют приведённые ниже зависимости для разных типов деталей:

Для лопаток: на основе уравнения частоты собственных колебаний этой детали

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{\delta_{ст}}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{140}{11} \frac{EJ}{ql^4}} \quad (1)$$

Путем преобразований и допущений получаем зависимость, имеющую вид:

$$f \cong \frac{18}{l^2} \sqrt{\frac{EJ}{\rho F}} \quad (2)$$

Для дисков круговая частота собственных колебаний представлена зависимостью:

$$p = z\omega \quad (3)$$

Колебания вала представлены классической синусоидой, поэтому частота колебаний будет выражена зависимостью

$$v = \frac{1}{T} \quad (4)$$

В формулах (1 – 4) приняты обозначения: F – площадь поперечного сечения ротора; q – масса единицы длины лопатки; l – длина лопатки; ρ – плотность материала лопатки; J – момент инерции поперечного сечения; E – модуль упругости сплава; z – число узловых диаметров; ω – угловая скорость бегущей волны; T – период колебания ротора.

Представления о колебании валов приведены на рис. 2.



Рис. 2. Графическое представление параметров колебания валов.

Подготовлены предложения по совершенствованию методики балансировки, которые укрупненным алгоритмом приведены на рис. 3.

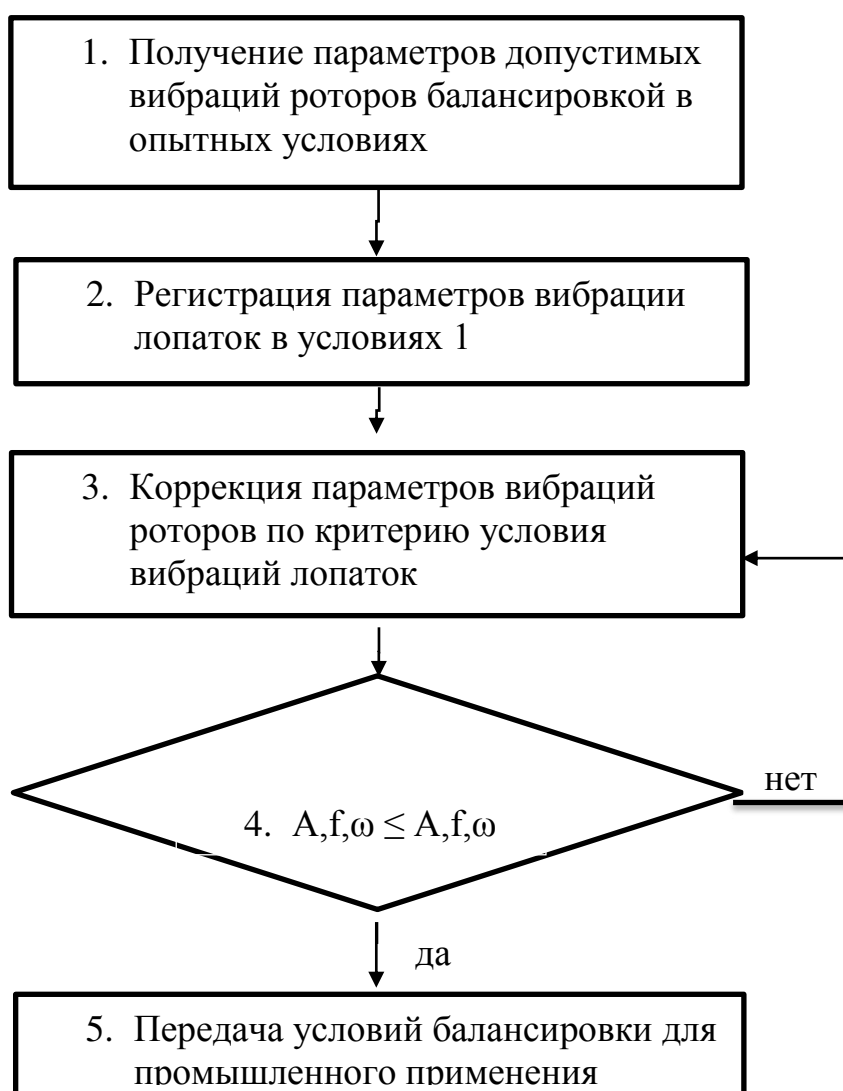


Рис. 3. Укрупненный алгоритм назначения условий балансировки ротора газовой турбины с учетом непревышения заданных параметров колебаний лопаток

На этапе 1, проводимом в опытных условиях, проводят динамическую балансировку по критерию допустимых колебаний опорных подшипников ротора с регистрацией диапазона амплитуд, частоты и других характеристик вибраций, которые возможны за время эксплуатации турбины.

Этап 2 соответствует регистрации характеристик вибрации лопаток в диапазонах вибраций ротора (по этапу 1), при этом вибрации ротора воспринимаются как возбудители колебаний лопаток.

Список литературы

1. Основы современной энергетики: учебник для вузов в 2 т. Т.1 Современная теплоэнергетика / А.Д. Трухний, М.А. Изюмов и др. – М.: Издательский дом МЭИ. 2008. 472 с.
2. Цанев, С. В. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций: учебное пособие./ С. В. Цанев, В. Д. Буров, А. Н. Ремезов – М.: Издательский дом МЭИ, 2002. 584 с.
3. Елисеев, Ю. С. Испытание, обеспечение надежности и ремонт авиационных двигателей и энергетических установок. / Ю. С. Елисеев, В. В. Крымов – М.: Изд – во МАИ, 2005 – 537с.
4. Вивденко, Ю. Н. Технология ремонта машин: Лабораторный практикум. / Ю. Н. Вивденко, Г. А. Нестеренко, С. А. Резин. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2005 – 200с.

УДК 629.1

Ю. Н. Вивденко, А. Р. Таминдаров

ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ТУРБОМАШИН КАК ФАКТОР ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ ПОТОКА

В статье приведены закономерности влияния параметров шероховатости поверхностей проточной части турбомашин, на примере деталей газовых турбин на коэффициент сопротивления газового потока. Предложены условия обеспечения заданной шероховатости с применением абразивно-экструзионного полирования.

Одним из условий формирования потерь энергии рабочего тела в проточной части газовых турбин является состояние рабочих поверхностей

деталей этой части. к таким действиям относятся рабочие и направляющие лопатки, элементы уплотнений, сопловые аппараты и другие.

В соответствии с ГОСТ 25142-92 состояние поверхностей деталей оценивают неровностями поверхности: параметрами шероховатости, волнистости, наличием дефектов (рисок, забоин, заусенцев и т.п.).

Как показали результаты исследований конструкции деталей и условий их эксплуатации, указанные параметры формируются на стадии изготовления, эксплуатации, обслуживания и ремонта деталей и узлов.

Технологическими операциями обеспечения параметров неровностей в процессе изготовления деталей проточной части являются процессы абразивной обработки. На этих операциях обеспечивают заданный параметр неровностей поверхностей – среднеарифметическое отклонение от профиля $R_0=0.5-0.15$.

В процессе эксплуатации при воздействии газовой среды в течение 80-100 часов указанный параметр возрастает в 2 и более раза

В соответствии с известными положениями теории обтекания шероховатой пластины [1] коэффициент потерь энергии газового потока по поверхности пластины (лопатка) зависит от числа Рейнольдса Re .

$$Re = \frac{l u}{\nu}, \quad (1)$$

где l – размеры тела (ширина пластины, хорда лопатки, и т.д.);

u – скорость среды относительно тела;

ν – кинематическая вязкость среды.

Коэффициент потери потока во многом зависит от того, насколько выступы шероховатости погружены в ламинарный слой потока когда условно поверхность можно считать гладкой. Этот режим наступает при соблюдении неравенства [2]:

$$Re \geq 100 \cdot \nu/k, \quad (2)$$

где k – средняя высота неровностей;

ν – хорда профиля тела.

Представление о допустимой высоте неровностей, при которой пластину (поверхность проточной части) можно считать как условно гладкую, можно получить по данным [1] на рис. 1.

С учетом положений подобия разных геометрических тел [3] решены задачи назначения условий обеспечения заданных параметров шероховатости деталей лопаточных машин включая узлы турбонаддува. При этом были

учтены условия обеспечения необходимых параметров поверхности и материала поверхности слоя [4].

Экструзионное полирование обеспечивает процесс чистовой обработки поверхностей изделий абразивной пастой в замкнутом объеме с перемещением этой пасты под давлением поочередно с двух сторон относительно обрабатываемых поверхностей. Схема такой обработки приведена на рис. 2

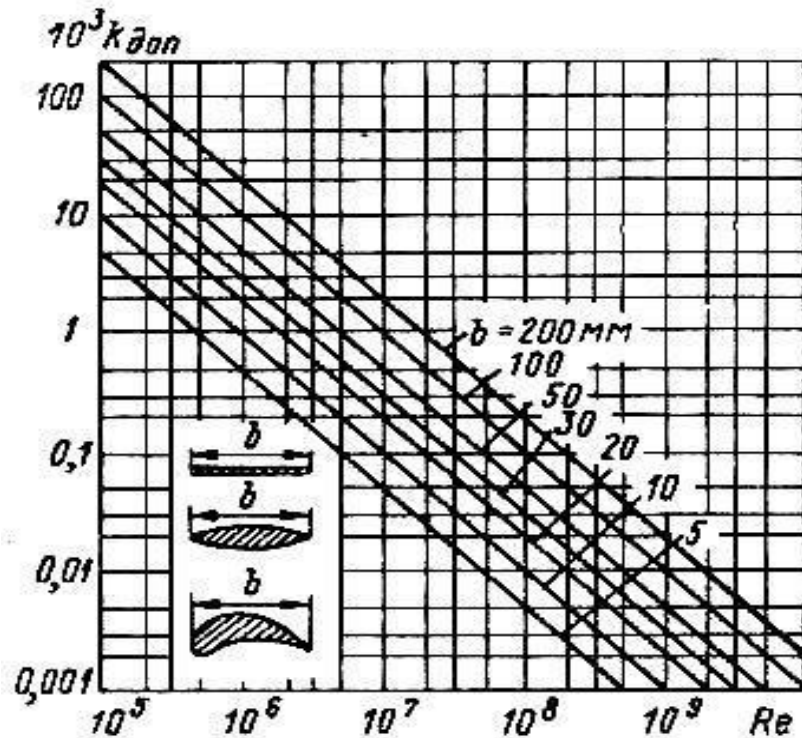


Рис.1. Допускаемая относительная шероховатость k_{don} в зависимости от числа Re при различной ширине пластины b

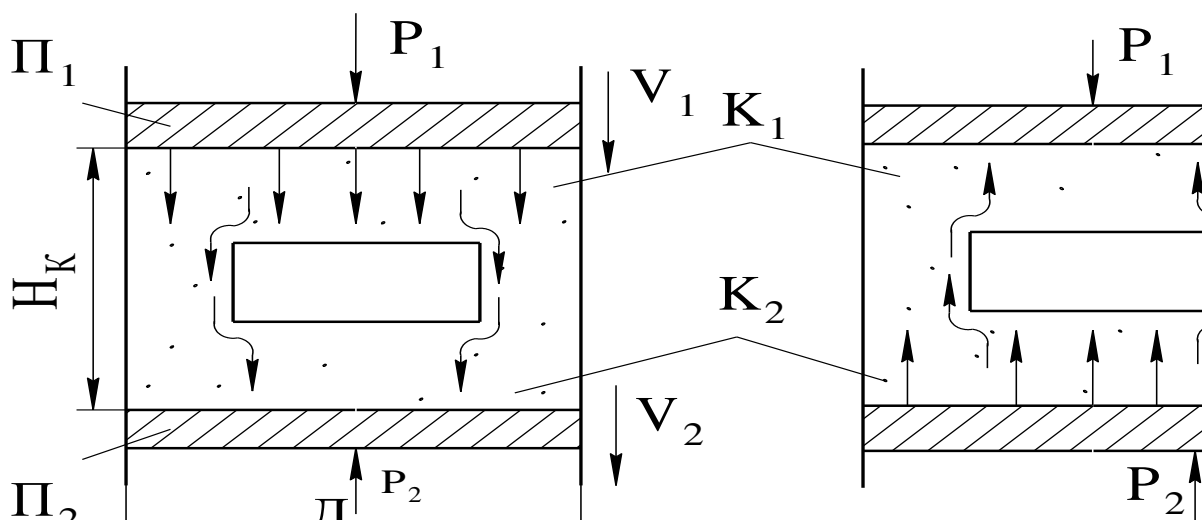


Рис. 2. Схема абразивно-экструзионного полирования: Д – обрабатываемое изделие; К – камера с рабочей средой; П₁, П₂ – рабочие поршни

Обрабатываемое изделие неподвижно закреплено в камере, весь объём которой диаметром D_K и высотой H_K заполнен рабочей средой, содержащей абразивные материалы. Движение рабочей среды относительно обрабатываемых поверхностей осуществляется путём синхронного перемещения поршней $П_1$ и $П_2$. В положении А движение поршней происходит в направлении V_1 и V_2 с соответствующим перемещением рабочей среды. Причём заданное соотношение усилий P_1 и P_2 обеспечивает во время движения поршней определённое давление в камере с рабочей средой. Во время движения поршней в положении А около 90 % объёма рабочей среды перемещается из объёма камеры K_1 в объём камеры K_2 .

Обрабатываемое изделие неподвижно закреплено в камере, весь объём которой диаметром D_K и высотой H_K заполнен рабочей средой, содержащей абразивные материалы. Движение рабочей среды относительно обрабатываемых поверхностей осуществляется путём синхронного перемещения поршней $П_1$ и $П_2$. В положении А движение поршней происходит в направлении V_1 и V_2 с соответствующим перемещением рабочей среды. Причём заданное соотношение усилий P_1 и P_2 обеспечивает во время движения поршней определённое давление в камере с рабочей средой. Во время движения поршней в положении А около 90 % объёма рабочей среды перемещается из объёма камеры K_1 в объём камеры K_2 .

В положении Б движение поршней V_1 и V_2 создаёт перемещение рабочей среды в обратном направлении.

Основные параметры процесса абразивно-экструзионного полирования приведены в табл. 1.

Физические и химические явления в процессе взаимодействия рабочей среды и обрабатываемой поверхности при экструзионном полировании во многом аналогичны рассмотренным явлениям при воздействии свободного абразива п. 3.2:

- нагружение обрабатываемой поверхности со стороны абразивного зерна и их взаимное перемещение приводят к упругой и пластической деформации материала срезаемого слоя и к осуществлению процесса резания зерном с разрушением и снятием микрообъёмов поверхностного слоя;

- наличие жидкой фазы, включающей ПАВ, в рабочей среде интенсифицирует процесс разрушения и удаления снимаемых объёмов поверхностного слоя.

Таблица 1

Параметры абразивно-экструзионного полирования

Параметры процесса	Значение
Рабочая среда:	абразивные порошки
основа	
размер зерна:	
- при предварительной обработке	120 – 160
- при чистовой обработке	50 – 100
концентрация абразива, %	50 – 70
скорость, м/с	0,5 – 2,0
давление, МПа	0,3 – 1,0
Продолжительность обработки, мин.	10 – 30
Удельный съём, мм/мин.	0,01 – 0,10
Средняя температура в камере, °С	30 – 40
Параметры шероховатости поверхности Ra, мкм:	
- исходной	12 – 6
- после обработки	1,2 – 0,3

Особенности процесса взаимодействия рабочей среды и обрабатываемой поверхности в отличие от ранее рассмотренных процессов обработки свободным абразивом приведены на схеме рис. 3.

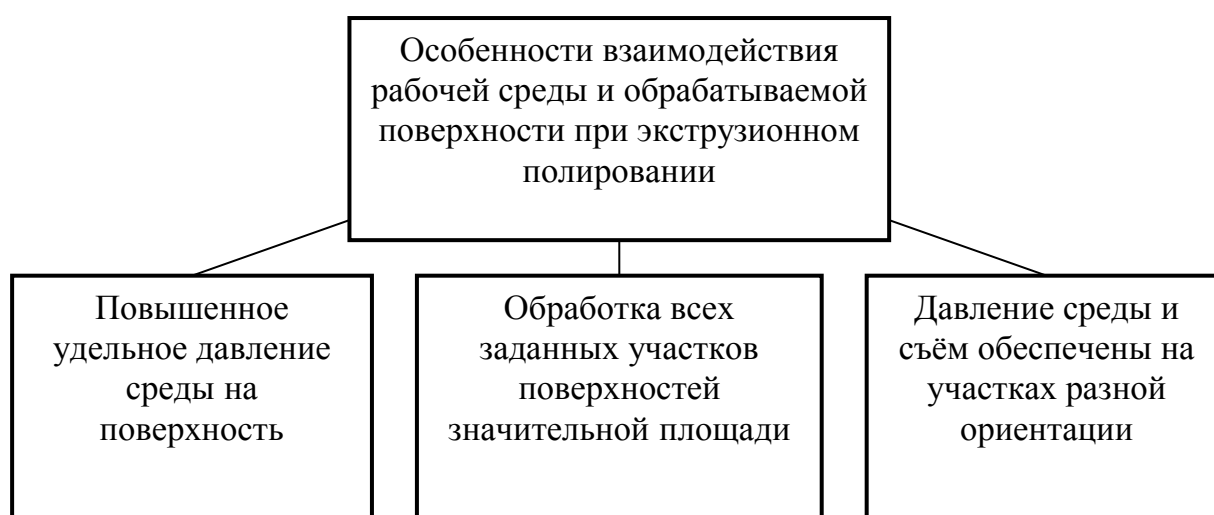


Рис. 3. Схема особенностей процесса взаимодействия рабочей среды и обрабатываемой поверхности при абразивно-экструзионном полировании

Повышенное удельное давление рабочей среды и условия обработки

поверхностей в замкнутом объёме обеспечивают по сравнению с другими процессами обработки свободным абразивом достаточно высокую производительность процесса экструзионного полирования.

Рассмотренный процесс автоматизированного полирования обеспечивает высокую производительность обеспечения заданных параметров шероховатости поверхностей проточной части, с обеспечением минимального коэффициента потерь энергии потока.

Список литературы

1. Кирилов, И. И. Теория турбомашин [текст] / И. И. Кирилов – Л.: Машиностроение 1992. 536с.
2. Вивденко, Ю. Н. обобщенная схема поверхностного слоя деталей при восстановлении [Текст] / Вивденко Ю. Н. // Поверхность: Технологические аспекты прочности деталей. Межвуз. тематич. науч. сб. Уфа, 1994. С 13-19.
3. Вивденко, Ю. Н. Методы подбора и моделирования в технологии машиностроения учебное пособие [Текст] / Ю. Н. Вивденко – Омск. Из-во ОмГТУ, 1998. 108с.
4. Способы бесцентровой абразивной доводки и устройство для его осуществления / Вивденко Ю. Н., Макаренко Н. Г., Головаш А. Н., Кусак Б. В. Патент на изобретение RUS2344919 17.07.2006.

УДК 621.438

А. А. Витвицкий

СНИЖЕНИЕ УТЕЧЕК В ПАРЕ «РОТОР - СТАТОР» ГАЗОВОЙ ТУРБИНЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕМ УПЛОТНЕНИЙ

В статье результатам исследования, были предложены, обеспечивающие повышение эффективности рабочего процесса в газовых турбинах за счет применения лабиринтных уплотнений с заданными характеристиками между ротором и статором турбин.

По результатам исследования получены решения, обеспечивающие повышение эффективности рабочего процесса в газовых турбинах за счет применения лабиринтных уплотнений с заданными характеристиками между ротором и статором турбины

Конструкторско-технологические решения по обеспечению снижения перетока рабочего тела на теоретической границе уплотнения пары «ротор-статор» газовой турбины относят к числу сложных. Это связано с термодинамическими условиями эксплуатации этой пары:

- уровень температур рабочего процесса составляет $1100 - 1400^{\circ}\text{C}$;
- линейные скорости уплотняемых рабочих поверхностей доходят до $100 - 200 \text{ м/с}$;
- радиальный размер уплотняемого пространства является переменным значением с учетом теплового изменения размеров контактных поверхностей деталей в диапазоне температур от режима запуска до выхода на оптимальный режим эксплуатации.

На рис. 1 показана типовая схема сечения дросселирующего клапана с толщиной стенок Δ , при движении потока перед дросселированием с давлением p' и после – p^1 . Исходя из процесса, в i,s -диаграмме видно, что давление газа уменьшается, проходя через каждый участок уплотнения.

Задачи создания и применения осевых и радиальных уплотнений для тел вращения сводятся к гарантированному созданию минимальной кольцевой щели на границе уплотнений с заданными размерами и формы щели в виде лабиринта. Для достижения данной цели применяют лабиринтные уплотнения. Действие таких уплотнений основано на торможении (завихрении) газа в узкой кольцевой щели с последующим расширением в смежной кольцевой камере большего объема.

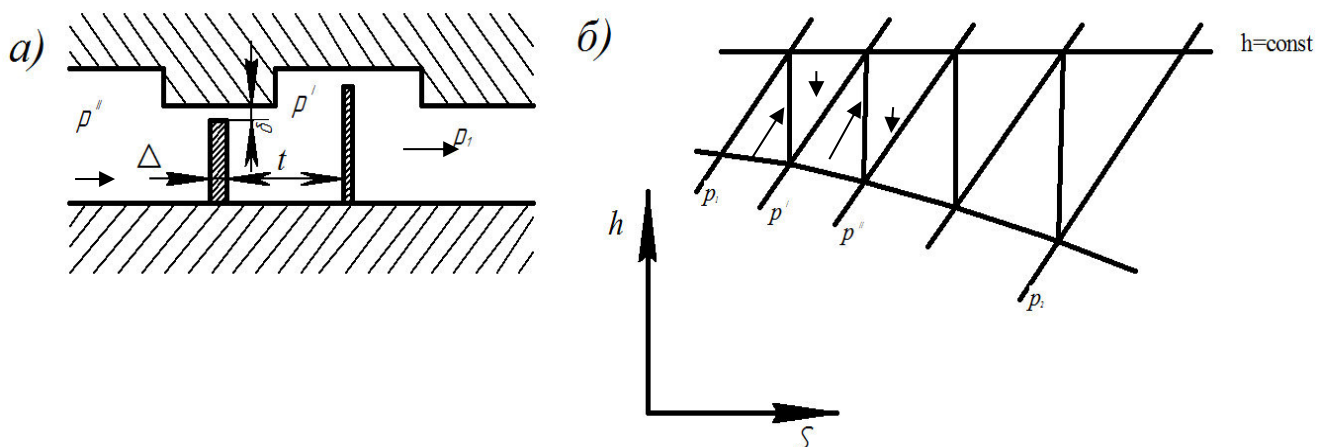


Рис. 1. Дросселирование в лабиринтном уплотнении: а – схема уплотнения; б – процесс в i,s -диаграмме

На рис. 2 показана схема действия лабиринтного уплотнения. Такое уплотнение отделяет полость А с повышением давления P_a от полости Б с понижением давления P_b .

На основе исследований установлено, что камеры целесообразно выполнять с резкими уступами на пути движения струи с тем, чтобы кинетическая энергия вытекающего из щели рабочего тела снижалась до минимума. Однако наличие таких уступов требует горизонтального разъема статора, что не всегда можно выполнить. Поэтому на практике применяются уплотнения с уступами и без уступов, они приведены на рис.3.

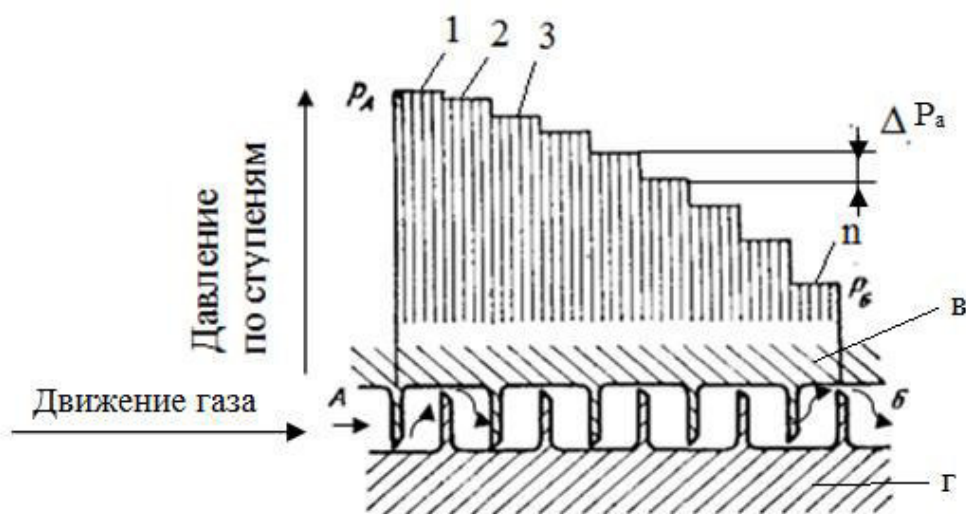


Рис. 2. Схема действия лабиринтного уплотнения: 1,2,3...n – значение давлений на участках уплотнений; в – ротор; г – статор; ΔP_a – разность давлений соседних участков уплотнений

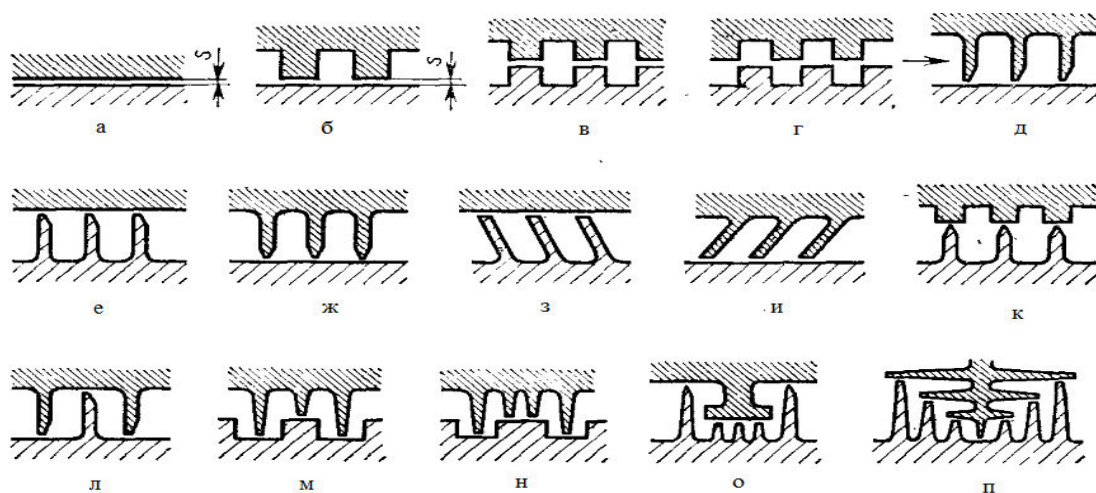


Рис. 3. Профили сечений лабиринтных уплотнений:

а - п – формы сечений уплотнений

Количество протекающего через лабиринты рабочего тела при одинаковых размерах всех щелей можно определить по формуле Ауреля Стодолы [2]:

$$G = \mu \cdot f \cdot \sqrt{\frac{p_1^2 - p_2^2}{z \cdot p_1 \cdot v_1}}, \quad (1)$$

где G – массовый расход рабочего тела; f – живое сечение кольцевой щели; p_1 и v_1 – соответственно начальное давление и удельный объём рабочего тела; p_2 – противодавление; z – число щелей; μ – коэффициент расхода.

Коэффициент расхода зависит от устройства уступов, величины зазоров, формы и толщины концов гребней, расстоянии между ними. Если при возникновении критической скорости в последней щели коэффициент расхода для нее выше, чем для остальных щелей.

Расстояние между гребнями уплотнений Т (рис. 2а) в значительной мере отражается на процессе торможения потока в лабиринтовых камерах, особенно при отсутствии уступов. При этом давление вдоль лабиринта падает постепенно, что способствует сохранению кинетической энергии рабочего тела перед входом в последующую щель и увеличению его расхода.

На основании опытных данных [3], можно принять для заостренных гребней (см. рис. 1) следующие средние значения коэффициентов расхода, составляющие $\mu_1 \approx 0,67$ и $\mu_2 = 0,80$.

Зазоры в лабиринтовых уплотнениях следует делать по возможности малыми (0,15...0,2 мм). Однако, учитывая увеличение зазоров во время эксплуатации, в расчетах обычно принимают их вдвое большими, чем показано на чертежах, по которым изготавливаются уплотнения.

На основе обобщения известного типа уплотнения и выполненных исследований установлено, что обеспечение предельно малого зазора является очень важной задачей для повышения качества работы газовой турбины. Для этого предложено изготавливать лабиринтное уплотнение в два этапа: формирование на роторе будущей формы лабиринта и нанесение слоя или формы лабиринта в форме плазменного напыления (рис. 4).

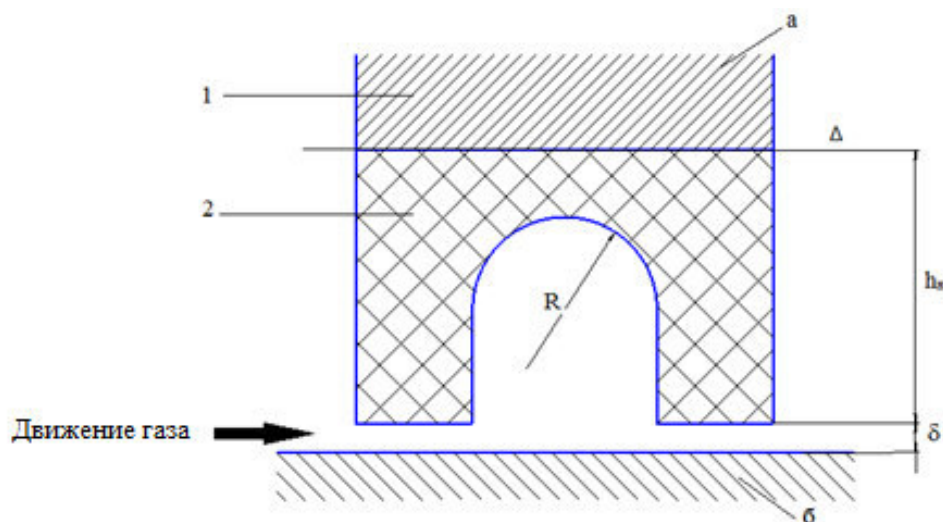


Рис. 4. Схема решений по предлагаемому уплотнению:

1 – изготавливаемая часть уплотнения ротора; 2 – поверхность, образованная по технологии плазменного напыления; а – ротор; б – статор; δ – радиальный зазор; Δ – ширина кромки, R – радиус канала уплотнения, h – высота слоя плазменного напыления

В связи с предложенными решениями, в месте контакта подвижной и неподвижной части предложено провести подбор специальных контактных материалов, с повышенными свойствами уплотнения и притирки. Материалы предложено наносить по технологии плазменного напыления с последующей доводкой контактных поверхностей. Толщина такого напыления (h_n) должна составлять 1,5...2 мм. Такой участок должен обладать высокими уплотняющими свойствами и прирабатываемостью при совместном движении контактных поверхностей [4]. При сборке турбины необходимо, чтобы подвижная и неподвижная были доведены до касания.

После сборки турбины предусмотрены этапы обкатки и доведения параметров уплотнения до оптимальных значений:

1. Изготовление базовой части уплотнения для поверхности, образованную по технологии плазменного напыления.
2. Напыление заданной формы лабиринта с размерами, при которых допустимо касание статора нанесенными поверхностями лабиринта.
3. Холодная обкатка с внешним приводом, предназначенная для обеспечения прилегания соприкасающихся частей ротора и статора.
4. Горячая обкатка на пониженном режиме без внешней нагрузки для обеспечения полного прилегания соприкасающихся частей лабиринта.
5. Обкатка на рабочем режиме

6. Передача в эксплуатацию на рабочем режиме.

Предлагаемые решения по совершенствованию уплотнений в паре «ротор-статор» могут быть рекомендованы для повышения эффективности рабочего процесса газовых турбин широкого диапазона мощности и назначения.

Список литературы

1. Орлов, П. И. Основы конструирования. Справочно-методическое пособие / П. И. Орлов – М.: Машиностроение, 1987. 379 с.
2. Кириллов, И. И. Теория турбомашин / И. И. Кириллов. Л.: Машиностроение, 1972. 537 с.
3. Вивденко, Ю. Н. Обобщенная схема поверхностного слоя деталей при восстановлении / Ю. Н. Вивденко // Межвуз. тематич. науч. Сборник. Уфа; Изд-во УАК. 1994. С. 13 – 19.
4. Способ бесцентровой абразивной доводки и устройство для его осуществления Вивденко Ю. Н., Макаренко Н. Г., Головаш А. Н., Кусик Б. В. Патент на изобретение RUS2344919 17.07.2006

УДК 621.432:502.14:543.42.061

П. В. Литвинов, А. С. Брюхова

ВЫБОР КАТАЛИТИЧЕСКОГО ПОКРЫТИЯ ПОРШНЯ С УЧЁТОМ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА МАТЕРИАЛА

В статье рассмотрены различные варианты повышения экологической безопасности двигателей. Рассмотрены варианты применения поршней с каталитическим покрытием и способы создания и испытания поршней данного вида. Приведены данные спектрального анализа поршней, выбранных для дальнейших исследований. Показаны графики конверсии окиси углерода при различных каталитических покрытиях.

Введение. При развитии современного двигателестроения особое внимание уделяется его экологической безопасности. Перед конструктором ставится задача соответствия двигателя внутреннего сгорания (ДВС) современных экологическим правилам и стандартам, таким как ЕЭК ООН № 24-

03, 49-01, 49-02, 49-05, 83-02, 83-04, 83-05, 83-06, 96-02, стандартам Евро-4, 5, 6 и Техническому регламенту Таможенного Союза ТР ТС 018/2011 [1].

Существует множество способов повышения экологической безопасности ДВС использование альтернативных топлив, в особенности в тепловозных и судовых дизельных установках, а также стационарных дизельных генераторах [2], биологический метод очистки [3], каталитических нейтрализаторов, в том числе из палладия, приготовленных методом микродуговой оксидации [4] и каталитических покрытий поршня [5].

Одним из способов снижения вредных выбросов с отработавшими газами (ОГ) поршневых ДВС является глубокое каталитическое окисление (дожигание). Основная задача состоит в окислении несгоревших углеводородов (СН), оксидов углерода (СО) и азота (NO_x). Кислород, необходимый для окисления, имеется либо в виде остаточного кислорода в отработавших газах за счет неполного сгорания, либо он забирается у оксидов азота, количество которых таким образом снижается. В качестве конечного продукта образуются водяной пар (H₂O), углекислый газ (CO₂) и азот (N₂) [5].

Однако, большинство каталитических нейтрализаторов неэффективны при прогреве двигателя и в условиях низких температур. Решением данной проблемы является применение внутрицилиндровых катализаторов, т.е. каталитических покрытий поршня и камеры сгорания [5].

Углеводородные выбросы двигателей с искровым зажиганием возникают из-за того, что часть топлива не окисляется, пламя затухает в «мёртвой зоне» поршня, на стенках КС, а пары топлива абсорбируются и десорбируются в слоях масла на стенках цилиндра. Трещины в стенках КС являются главными источниками несгоревших углеводородов, поскольку имеют небольшой объём и узкий вход. Большинство таких трещин расположены в выемках для уплотнительных колец поршня. Большинство источников несгораемых углеводородов близки к стенкам КС. Следовательно, несгоревшие углеводороды можно снизить в источниках их образования путём нанесения каталитического покрытия на поверхность поршня [6].

Кроме каталитического действия важны ещё и термобарьерные свойства поверхностей КС, чего можно добиться путём нанесения покрытий с низкими коэффициентами теплопроводности.

Спектральный анализ. Тем не менее, для качественного анализа и определения влияния каталитических материалов необходимо проводить

оксидацию поршней. Для этого необходим комплекс исследований, включающий в себя как анализ поршня на пригодность для испытаний, так и само испытание на стендовом двигателе для установления показателей выбросов ОГ в двигателе с покрытыми и непокрытыми поршнями.

Одним из этапов исследования является проведение спектрального анализа материала поршня. При определении марки материала автомобильных поршней использовался атомно-эмиссионный спектрометр типа «Аргон-5СФ». Анализы проводились в среде инертного газа с использованием стандартной методики определения алюминиевых сплавов, построенной с использованием 61 стандартного образца, с определением количественного содержания 20 элементов примесей в широком диапазоне их изменения.

Результат определения трех образцов алюминиевых поршней приведен в таблице 1. Количество элементов соответствует количеству, нормируемому ГОСТ 1583-93. На результаты спектрального анализа, возможно, оказал влияние поверхностный слой образцов, находившихся в эксплуатации и возможным насыщением элементами продуктов износа и присадок моторного масла. Кроме того поверхность образца №3 содержала дефекты типа раковин и наличия неметаллических включений, полученных в результате производства или эксплуатации.

Таблица 1

Результаты спектрального анализа образцов алюминиевого сплава

Марка материала	Элементы					
	Si	Cu	Mg	Fe	Ti	B
№ 1 (BA3-2108)	11,7±0,5	1,5±0,08	0,7±0,05	0,8±0,05	0,01±0,005	0,01±0,005
№ 2 (BA3-2105)	12,8±0,5	1,7±0,08	0,8±0,05	0,9±0,05	0,01±0,005	0,03±0,005
№ 3 (ЗА3-966)	13,1±0,5	1,8±0,08	0,9±0,05	1,0±0,05	0,01±0,005	0,01±0,005

Спектральный анализ в данных исследованиях необходим для установления химического состава материала поршня и его пригодности к оксидации и каталитическому напылению.

Задача определения марки неизвестного материала спектральными методами содержит решение нескольких взаимосвязанных задач. На первом этапе выполняется качественный анализ с определением типа основы и

определяемых элементов для выбора наиболее подходящей методики [7,8].

После определения наиболее подходящей методики выполняется определение количественного состава элементов примесей и выбор наиболее подходящей марки материала по границам, заданным в нормативных документах. Для устранения влияния условий проведения эксперимента пользуются способами компенсации дополнительных погрешностей, например, описанными в работе [9].

Каталитическое покрытие. Покрытия на основе $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ обладают отличными термобарьерными свойствами и формируются из материала поршня в результате микродугового оксидирования (МДО). Из важных преимуществ данного способа получения покрытий можно выделить простоту оборудования для реализации МДО, низкой стоимости реагентов, из которых готовят электролиты для МДО, и возможность активации покрытия на основе $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ активными компонентами (Pt, Pd, Cu, Ce).

МДО проводилось на образцах различных поршней. Для этого поршни автомобиля ВАЗ были распилены на полоски, шириной 7 мм. Данная процедура была выполнена для снижения затрат на исследования, поскольку использование целого поршня экономически невыгодно. Эксперимент показал, что приемлемым для получения необходимого материала каталитических нейтрализаторов является микродуговая оксидация в электролитах PWB + NH_4F , PWB (40г/л) + KOH (4г/л) + NH_4F (3г/л) в качестве каталитического покрытия возможно использовать платину (Pt), родий (Rh) и палладий (Pd), а также более дешёвые материалы. После этого на лабораторной установке в ИППУ СО РАН было осуществлено каталитическое покрытие различных образцов и испытание их на конверсию окиси углерода [10].

Результаты испытания показали, что помимо катализаторов из дорогостоящих металлов таких как платина (Pt), палладий (Pd), конверсии окиси углерода способствуют и каталитические покрытия из дешёвых металлов, таких как медь (Cu), церий (Ce), цирконий (Zr).

При испытаниях на лабораторной установке было установлено, что каталитическое покрытие способствует конверсии окиси углерода, углеводородов и в незначительной степени окислам азота. Однако, воспроизведение полной имитации работы ДВС невозможно в условиях данной установки.

В настоящий момент производится разработка установки для

окислирования поршней и последующего их каталитического покрытия. На стендовом двигателе планируется снять серию индикаторных диаграмм для оценки влияния покрытия на показатели работы двигателя.

Повышение экологической безопасности. При испытании образцов с каталитическим покрытием из палладия был показан высокий уровень конверсии СО, что показано на рис. 1. При этом конверсия СО для образцов, полученных из различных электролитов также высока, что отражено на рис. 2. Также высокую активность показывают катализаторы, активированные солями переходных металлов.

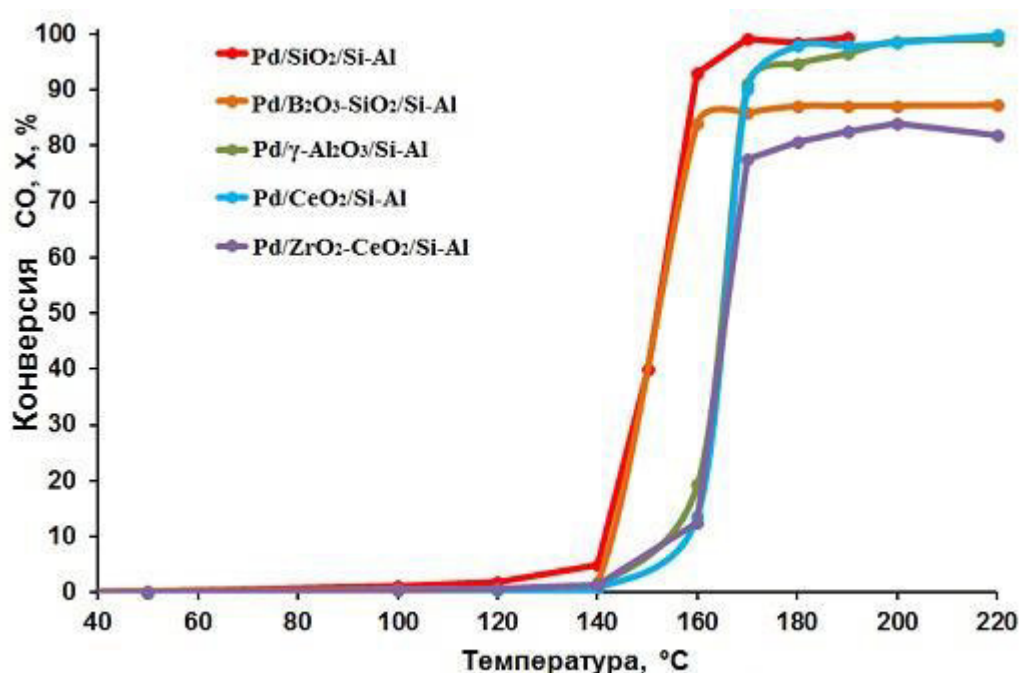


Рис. 1. Активность образцов палладиевых катализаторов

При этом конверсия СО для образцов, полученных из различных электролитов также высока, что отражено на рис. 2. Также высокую активность показывают катализаторы, активированные солями переходных металлов.

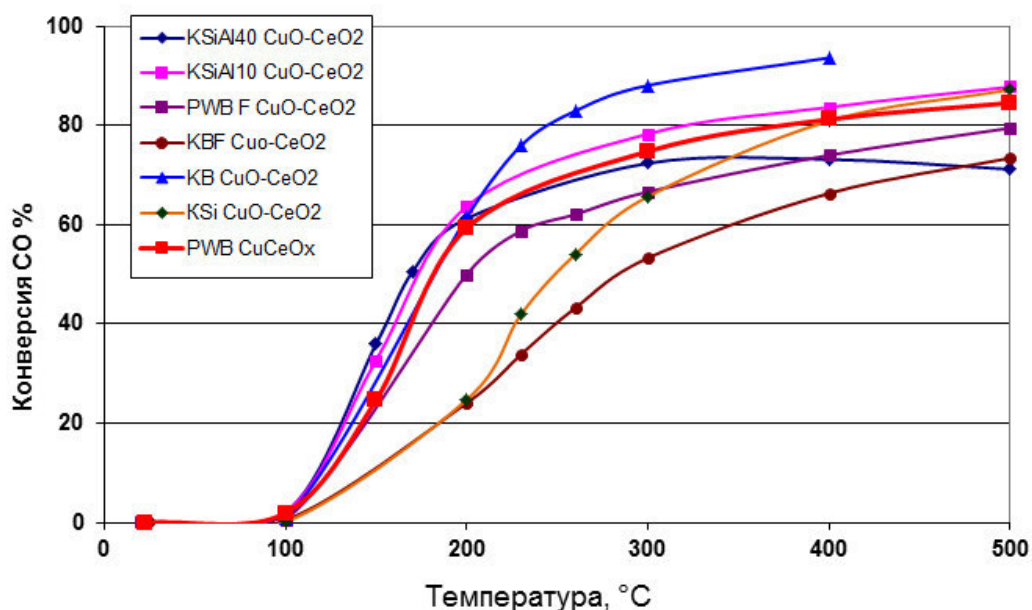


Рис. 2. График зависимости конверсии СО от температуры для медно-цериевых катализаторов

Предполагается, что при испытаниях на ДВС результаты должны быть сходны с данными графиками. Для бюджетных вариантов автомобилей предполагается использовать поршни с медно-цериевыми катализаторами, а для автомобилей высокого класса – палладиевыми. Для стационарных, тепловозных и судовых дизелей также предполагает использование медно-цериевых катализаторов ввиду большей площади покрытия. Именно медно-цериевые катализаторы, приготовленные в различных электролитах, являются наиболее активными из менее дорогостоящих материалов.

Вывод. Выбор соответствующего катализатора позволит создать оптимальную температуру в КС при достаточно высокой полноте сгорания топлива, что будет способствовать снижению количества вредных выбросов ДВС. Целесообразно проведение дальнейших исследований каталитических покрытий с целью проверки их эффективности в реальных условиях работы ДВС.

Список литературы

1. Ведрученко, В. Р. Анализ требований к нормативам выбросов вредных веществ / В. Р. Ведрученко, П. В. Литвинов // Архитектура, строительство, транспорт [Электронный ресурс]: материалы Международной

научно-практической конференции. – Омск: СибАДИ, 2015. - С. 970-976. (дата обращения 17.01.2017).

2. Ведрученко, В. Р. Альтернативные виды топлива для судовых дизелей: монография / В. Р. Ведрученко, И.И. Малахов // ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта». Омск, 2012. 172 с.

3. Литвинов, П. В. Использование микроорганизмов при биологической очистке загрязнений, вызванных вредными выбросами поршневых двигателей / П. В. Литвинов, А. И. Чиркова // Молодой ученый. – 2017. – № 4. – С.200 – 203.

4. Борисов, В. А. Обоснование выбора материала катализатора для повышения экологической безопасности ДВС / В. А. Борисов, А. Л. Иванов // Архитектура, строительство, транспорт [Электронный ресурс]: материалы Международной научно-практической конференции. – Омск: СибАДИ, 2015. - С. 967-970. (дата обращения 17.01.2017).

5. Влияние материала поршня на процесс сгорания топлива в двигателе / В. Р. Ведрученко, А. Л. Иванов и др. // Вестник СибАДИ. – 2016. - № 5(51). – С. 61 – 68.

6. Hu, Z, Ladommatos, N., In-Cylinder Catalysts - A Novel Approach to Reduce Hydrocarbon Emissions from Spark-Ignition Engines // SAE Technical Paper 952419, 1995, doi:10.4271/952419.

7. Кузнецов, А. А. Автоматическое определение типа основы анализируемых материалов в приборах спектрального анализа / А. А. Кузнецов, А. В. Шахов // Омский научный вестник. №2 (110). 2012. С. 240 – 245.

8. Зажирко, В. Н. Способ идентификации и измерения параметров спектральных линий в автоматизированных системах контроля / В. Н. Зажирко, А. А. Кузнецов, С. М. Овчаренко // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. № 5. 2006. С. 39 – 45.

9. Кузнецов, А. А. Способ достижения инвариантности градуировочных графиков при определении количественного состава металлов и сплавов автоматизированными системами АЭСА / А. А. Кузнецов, О. Б. Мешкова, Д. Е. Зачатейский // Омский научный вестник № 2. 2010. С.169-172.

10. Osipov A. R., Borisov V. A., Suprunov G. I., Mukhin V. A., Ivanov A. L., Sigaeva S. S., Anoshkina E. A., Temerev V. L., Hohlov A. A., Tsyrl'nikov P. G., Catalytic coatings for improving the environmental safety of internal combustion engines // Procedia Engineering, 2016, V. 152, pp. 59 – 66.

Д. С. Синельников, П. А. Щинников, А. А. Францева

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСХОДА ИНИЦИИРУЮЩЕГО ТОПЛИВА ДЛЯ ТЕХНОЛОГИИ ТЕРМОПОДГОТОВКИ УГЛЯ В ЦИКЛОНАХ МАЛЫХ РАЗМЕРОВ

В статье предлагаются основные положения методики определения расхода инициирующего топлива при организации процессов термopодготовки угля в предтопке циклонного типа.² На примерах расчетов термopодготовки некоторых углей показана работоспособность модели.

Повышение эффективности использования угля на ТЭС – актуальная задача. Одним из вариантов решения задачи является применение технологии термopодготовки угля [1] в циклонах малых размеров, которые могут быть использованы в качестве горелок энергетического котла.

Сущностью термической подготовки топлива является предварительный подогрев пыли перед ее сжиганием в топке котла до высоких температур (600...800 °С) в специальном предтопке, рис.1. Весь процесс длится 0,5...2 секунды, причем прогрев и выход летучих происходит почти мгновенно, в доли секунды, а в остальное время - частичная газификация коксового остатка. В целом термopодготовка позволяет обеспечить раннее воспламенение и достаточно глубокое выгорание угольной пыли на начальном участке горелочных устройств за счет содержания в получаемой газовой смеси легко воспламеняющихся горючих летучих веществ. Для получения математической модели с приемлемой для инженерных расчетов точностью достаточно вести учет определяющих термopодготовку реакций выхода летучих и частичной газификации [1-3]. Кинетические параметры этих реакций предложены ниже, табл.1.

² Статья подготовлена в инициативном порядке в соответствии с заявкой на грант РФФИ 2017 года, номер заявки 17-08-00396 " Экологически чистое сжигание угля с использованием термоциклона, выполняющего роль горелки котла"

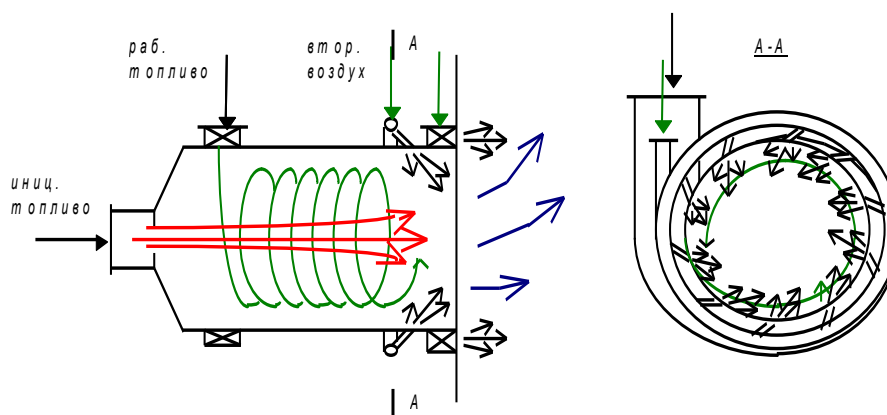


Рис. 1. Термоциклон малого размера для процесса термоподготовки угля

Таблица 1

Кинетические параметры реакций [4-6]

Реакции		$k_0, \text{с}^{-1}$	$E, \text{кДж/кмоль}$
Выход топливного CO	$\text{CO}^{\text{ТОПЛ}} \rightarrow \text{CO}$	$2 \cdot 10^{12}$	$186 \cdot 10^3$
Выход топливного CO ₂	$\text{CO}_2^{\text{ТОПЛ}} \rightarrow \text{CO}_2$	$2 \cdot 10^{11}$	$137 \cdot 10^3$
Выход метана из топлива	$\text{CH}_4^{\text{ТОПЛ}} \rightarrow \text{CH}_4$	$1,6 \cdot 10^{14}$	$216 \cdot 10^3$
Паровая газификация полукокса	$\text{C} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + \text{H}_2$	$2 \cdot 10^{11}$	$255 \cdot 10^3$
Углекислая газификация полукокса	$\text{C} + \text{CO}_2 \rightarrow 2\text{CO}$	$1,6 \cdot 10^{13}$	$350 \cdot 10^3$
Горение угля (КАУ)		$3 \cdot 10^3 \text{ м/с}$	$84 \cdot 10^3$
Горение газа		$5,6 \cdot 10^{12} \text{ м/с}$	$104 \cdot 10^3$

Приближенность моделирования процесса обусловливается допущением, что горение инициирующего топлива происходит в однородной среде без смешения с потоком реагирующего рабочего угля, динамика процесса горения определяется в основном константой скорости реакции и соответствующей энергией активации. При этом термическим сопротивлением угольных частиц как рабочего, так и инициирующего угля можно пренебречь, так как критерий $Fo > 5$ и критерий $Bi < 0,5$, то есть конвективный теплообмен от газа к угольной частице является определяющим по сравнению с переносом теплоты внутри частицы.

Концентрации компонентов газовой смеси можно определить в соответствии с законом Аррениуса как:

$$\frac{dc_j}{d\tau} = (c_j^0 - c_j) a_j = f_j, \quad (1)$$

где $a_j = k_j e^{-\frac{E_j}{RT_y}}$; k_j ; E_j – предэкспоненциальный множитель константы скорости выхода компонентов и соответствующая энергия активации в j -ой термохимической реакции (табл.1); T_y – температура частицы; R – универсальная газовая постоянная; c_j^0 – начальная концентрация компонентов.

С другой стороны, на входе в предтопок газозвесь (аэропыль) характеризуется объемом ($V_{см}$) и температурой ($T_{см}$). Температура горящего топлива (T_T) определяет в зависимости от критерия Больцмана среднетопочную плотность излучения и принимается равной эффективной температуре ($T_{эф}$). По мере продвижения газозвеси по предтопку происходит выход летучих и образование продуктов двухфазного топлива с ростом температуры составляющих его газов (T_T) и твердых частиц (T_y). Полученное таким путем двухфазное топливо имеет высокую температуру, обеспечивающую режим самовоспламенения и высокую реакционную способность, в несколько раз превышающую начальную реакционную способность рабочего угля.

Система уравнений, характеризующая процесс термopодготовки при использовании в качестве иницирующего топлива высокорeакционного угля, выглядит следующим образом:

$$\begin{aligned}\frac{dT_{\Gamma}}{d\tau} &= -a_{\Gamma}T_{\Gamma} + f_{\Gamma}; T_{\Gamma}(0) = T_{см} \\ \frac{dT_y}{d\tau} &= -a_yT_y + f_y; T_y(0) = T_y^0 \\ \frac{dT_T}{d\tau} &= -a_TT_T + f_T; T_T(0) = T_T^0\end{aligned}\tag{2}$$

где τ – время протекания процесса; T_T – температура горения топлива; a, f – коэффициенты и характеристические функции, зависящие от физико-химических свойств топлива, констант скорости и энергий активации протекающих химических реакций.

Процесс увеличения температуры газозвеси (T_{Γ}) учитывает тепло, полученное излучением от горящего топлива, энтальпию газозвеси, тепло, переданное угольным частицам конвекцией. Изменение температуры угольной частицы (T_y) определяется с учетом получения тепла излучением от горящего топлива, конвективной теплоотдачи, потерь тепла на испарение влаги, эндотермического [4] и экзотермического эффектов реакций газификации и выхода летучих. Температура горения (T_T) определяется с учетом теплотворной способности иницирующего топлива и тепла, переданного излучением

газовзвеси. На основании вышеизложенного, в системе уравнений (2) характеристические функции f определяются как:

$$\begin{aligned}
 f_{\Gamma} &= \frac{6}{\delta_0 \gamma_y V_{\text{CM}} c_{\text{CM}}} \alpha_p T_{\text{ЭФ}} + \frac{1}{V_{\text{CM}} c_{\text{CM}}} \left\{ h_{\Pi} \frac{\mu_{\text{H}_2\text{O}}}{\mu_{\text{CO}}} f_{\Pi} + \right. \\
 &+ \left. \left(\frac{6 \text{Nu} \lambda_{\Gamma}}{\delta_0^2 \gamma_y} + c_{\text{ВП}} f_w + c_{\Lambda} f_{\Lambda}^{\text{B}} + c_{\text{CM}} f_{\Pi} + c_{\text{CM}} f_{\text{CO}_2} \right) T_y \right\}; \\
 f_y &= \frac{6}{\delta_0 \gamma_y c_y} \alpha_{\text{Py}} T_{\text{ЭФ}} + \frac{6 \text{Nu} \lambda_{\Gamma}}{\delta_0^2 \gamma_y c_y} T_{\Gamma} - \frac{r}{c_y} f_w + \frac{Q_{\Pi}}{c_y} f_{\Pi} + \\
 &+ \frac{Q_{\text{CO}_2}}{c_y} f_{\text{CO}_2} - \frac{Q_{\text{CH}_4}^{\text{B}}}{c_y} f_{\text{CH}_4}^{\text{B}} - \frac{Q_{\text{CO}}^{\text{B}}}{c_y} f_{\text{CO}}^{\text{B}} - \frac{Q_{\text{CO}_2}^{\text{B}}}{c_y} f_{\text{CO}_2}^{\text{B}}; \\
 f_{\text{T}} &= \beta_{\text{T}} \frac{6}{\delta_{\text{T}} \gamma_{\text{T}} c_{\text{T}}} Q_{\text{H}}^{\text{C}} k_{\text{T}} c_{\text{T}}^{\Gamma} \frac{1}{V_{\text{T}}} + \frac{6}{\delta_0 \gamma_y c_y} (\alpha_{\text{Py}} T_y + \alpha_{\text{P}} T_{\Gamma})
 \end{aligned} \tag{3}$$

В этих уравнениях: Nu – критерий Нуссельта; λ_{Γ} – коэффициент теплопроводности газовзвеси; $\gamma_y; \delta_0; c_y$ – плотность, размер и теплоемкость частиц рабочего топлива; $\gamma_{\text{T}}; \delta_{\text{T}}; c_{\text{T}}$ – плотность, размер и теплоемкость частиц инициирующего топлива; $c_{\Lambda}; c_{\text{ВП}}$ – теплоемкость летучих и водяных паров; c_{CM} – средняя теплоемкость газовзвеси; $\alpha_{\text{p}}; \alpha_{\text{Py}}$ – радиационные коэффициенты теплоотдачи к газовзвеси и частицам; r – теплота испарения; $Q_{\text{CO}_2}^{\text{B}}; Q_{\text{CO}}^{\text{B}}; Q_{\text{CO}_2}; Q_{\text{CH}_4}; Q_{\Pi}$ – эндотермический и экзотермический эффекты газификации соответствующих реакций; $h_{\Pi}; \mu$ – энтальпия пара частичной паровой газификации и мольные концентрации веществ соответствующей реакции; Q_{H}^{C} – низшая теплота сгорания инициирующего угля в пересчете на сухую массу; $f_{\text{CO}_2}; f^{\text{B}}; f_w; f_{\Pi}$ – характеристические функции образования двуокиси углерода, выхода летучих, испарения влаги и частичной паровой газификации; β_{T} – массовая концентрация инициирующего топлива; c_{T}^{Γ} – количество сгоревшего инициирующего топлива; k_{T} – эффективная кинетико-диффузионная константа скорости горения; $V_{\text{CM}}, V_{\text{T}}$ – средний объем газовзвеси и объем продуктов горения инициирующего топлива.

В случае использования в качестве инициирующего топлива природного газа, уравнение, характеризующее его горение (система уравнений (2)) примет вид:

$$\frac{dT_{\text{д}}}{d\tau} = \left(\beta_{\text{T}} \rho^{\Gamma} \frac{1}{c_{\text{T}} V_{\text{T}}} Q^{\Gamma} k c_{\text{T}}^{\Gamma} \right) - \left\{ \frac{\Psi_y}{c_{\text{CM}} \delta_0} \lambda_{\Gamma} \text{Nu} \beta_{\text{T}} [(T_{\text{T}} - T_{\Gamma}) + (T_{\text{T}} - T_y)] \right\}, \tag{4}$$

где первое слагаемое характеризует выгорание газа (тепловыделение при

выгорании), второе – перенос теплоты рабочему топливу. Здесь $\rho^Г$ – плотность инициирующего газа; c_T – теплоемкость продуктов сгорания; Q_T – теплота сгорания газа; ψ_y – поверхность частиц 1 кг угля; c_{CM} – теплоемкость смеси.

Расход инициирующего топлива определяется энергобалансом (рис. 2) как:

$$\beta_T = \frac{\sum Q^{BIX} - \sum Q^{BX}}{Q_H^C} \quad (5)$$

где $\sum Q^{BIX}$ – тепловая мощность на выходе из предтопка, учитывающая физическое тепло газовзвеси и теплоту сгорания ее горючих веществ; $\sum Q^{BX}$ – тепловая мощность на входе в предтопок, учитывающая теплоту сгорания рабочего топлива и физическое тепло подводимого пара для частичной паровой газификации.

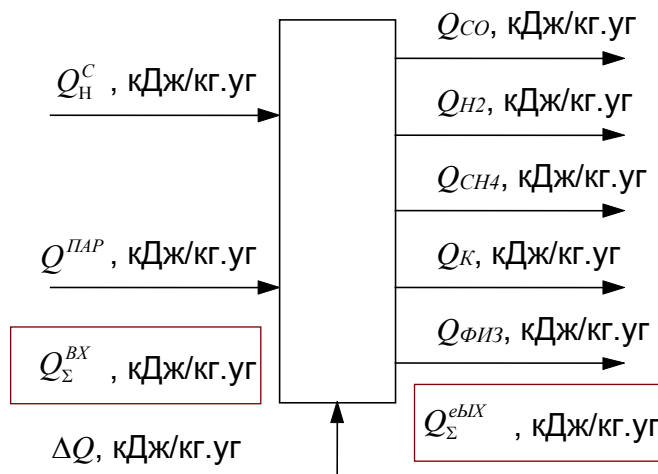


Рис. 2. Энергетический баланс термоциклонного предтопка

Таблица 2

Результаты расчетов термоподготовки некоторых углей

	КАУ (Березовский Б2)	Кузнецкий промпродукт	Листвянский АШ
Состав газовзвеси на 1 кг рабочего угля			
A , кг/кг.уг	0,065	0,31	0,198
SO ₂ , кг/кг.уг	0,0048	0,014	
N , кг/кг.уг	0,0061	0,013	
O , кг/кг.уг	0,013	0,0017	
CO ₂ , кг/кг.уг	0,274	0,041	0,017
CO , кг/кг.уг	0,136	0,549	0,210
CH ₄ , кг/кг.уг	0,169	0,12	0,070
H ₂ , кг/кг.уг	0,01	0,0151	0,015

С _к (полукокс) кг/кг.уг	0,354	0,21	0,541
W , кг/кг.уг	0,005	0,005	
Характеристики подогревателя			
Температура частиц, К	1014	1170	901
Температура газов, К	1064	1160	1240
Температура горения, К	2192	1620	1250
Тепловая мощность на входе в подогреватель, кДж/кг.уг	22090	22170	
Тепловая мощность на выходе из подогревателя, кДж/кг.уг	24610	24100	
Подводимое тепло, кДж/кг.уг	2520	1930	
Количество подводимого пара, кг/кг.уг	0,022	0,28	0,068
Расход инициирующего топлива, кг/кг.уг	0,115	0,082	0,027

На основе предложенной математической модели разработан алгоритм инженерных расчетов процесса термоподготовки в циклонном предтопке малого размера и определены некоторые характеристики процесса (табл.2).

Выводы

1. На основе модели частичной газификации угля представлена методика определения расхода инициирующего топлива для ведения процесса термоподготовки угля в циклонах малых размеров.

2. Показано, что расход инициирующего топлива может колебаться в пределах 3-12% в зависимости от газифицируемого (рабочего) угля.

Список литературы

1. Ноздренко, Г. В. Определяющие принципы и алгоритм инженерного расчета термической подготовки топлива / Г. В. Ноздренко, П. А. Щинников // Теплоэнергетика: Физико-технические и экологические проблемы, новые технологии, технико-экономическая эффективность: Сб. науч. трудов – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 1997. – С. 90...101.

2. Ноздренко, Г. В. Математическая модель и алгоритм инженерных расчетов процесса газификации угля в трубчатых реакторах / Г. В. Ноздренко, П. А. Щинников, В. В. Зыков // Использование методов математического моделирования в котельной технике / Тезисы докладов. – Красноярск, АО СибВТИ, 1996. – С.47...48.

3. Щинников, П. А. Математическая модель процесса газификации угля в трубчатых реакторах / П. А. Щинников, В. В. Зыков, Г. В. Ноздренко // Теплоэнергетика: Физико-технические и экологические проблемы, новые технологии, технико-экономическая эффективность: Сб. науч. трудов – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 1997. – С. 72...90.

4. Основы практической теории горения. / Под ред. В. В. Померанцева. Уч. Пособие для ВУЗов. – Л.: Энергия, 1973. - 262 с.

5. Solomon P.K., Hamblen D.J., Carangelo R.M., Krause J.L. Coal thermal decomposition in an entrained flow reactor: experiments and theory. // Coal 19-th Symp. (Intern.) Combustion (Proc.). – 1982. – p.p. 1139-1149.

6. Suuburd E.M., Peters W.A., Howard J.B. Produkt composition and kinetic of lignait pirolis. // Ind. Eng. Chem. Proceses. Des, Dev. - 1987. - №1. – p.p. 37-46.

УДК 669.1.017:620.18:620.19

А. В. Помазова, А. С. Заворин

ОБОСНОВАНИЕ ВНЕДРЕНИЯ СПОСОБА ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕГО ПОВЫШЕНИЕ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ ТРУБ ПОВЕРХНОСТЕЙ НАГРЕВА

Внедрение современных цехов термической обработки, проводящих разработанный режим термообработки, на предприятиях Группы «Интер РАО» позволит обеспечивать теплогенерирующие предприятия трубами поверхностей нагрева с повышенными коррозионными свойствами. На примере компаний г. Омска оценено ресурсосбережение при использовании возможностей цеха термической обработки. Данные приведены в соответствии с планируемыми заменами в 2016 г. Помимо рассчитанной экономии в 20-25% (15 млн рублей в год) за счет увеличения срока службы поверхностей нагрева, теплогенерирующие предприятия будут нести меньшие затраты вследствие отсутствия аварий, произошедших в результате наличия ухудшенных металлографических характеристик металла, а также за счет увеличения межремонтного периода.

Разработка методов улучшения эксплуатационных характеристик котельных сталей является одной из приоритетных задач, выделенной в «Основных положениях технической политики в электроэнергетике России на период до 2030 г.» [1] как минимизация расходов на производство электроэнергии и тепла за счет внедрения передовых технологий и современного высокоэкономичного оборудования. Проблема повышения рабочего ресурса труб поверхностей нагрева относится и к одному из перспективных направлений, обозначенному в прогнозе научно-технического развития РФ на период до 2030 года [2] – энергосбережению и энергоэффективности.

Относительно простым (экономичным) и перспективным направлением повышения надежности теплоэнергетического оборудования является совершенствование характеристик микроструктуры, модификация которых влияет на эксплуатационные свойства углеродистых сталей. Для этого широко применяются и разрабатываются режимы термической обработки [3,4].

Исследования, проведенные ранее [5,6], продемонстрировали возможности повышения коррозионной стойкости трубной стали 20 при циклической нормализации. Зафиксировано, что наименьшая скорость коррозии наблюдается при двукратной нормализации при 920°C, формирующей более однородную сорбитообразную микроструктуру. При этом режиме скорость коррозии уменьшается на 38-51% от исходного значения. Все контролируемые параметры микроструктуры трубной стали после этого режима соответствуют требованиям определяющих нормативных документов, уровень механических свойств также остается удовлетворительным. Оценить принципиальную возможность применения разработанного режима можно с точки зрения стоимости создания цеха термической обработки, срока его окупаемости и востребованности для теплогенерирующих компаний.

Результаты и их обсуждение

Примерный расчет проекта цеха термической обработки для нужд АО «ТГК-11», реализующего режим двукратной нормализации труб поверхностей нагрева при 920°C, позволит оценить принципиальную возможность его применения. Оценка технико-экономического обоснования и расчет энергосбережения при внедрении двукратной нормализации при 920°C проведены на основе анализа стоимости создания цеха термической обработки.

Организация такого цеха термообработки позволит обеспечивать ТЭЦ трубами поверхностей нагрева с повышенными антикоррозионными свойствами.

Проектирование оборудования термических цехов и участков включает в себя, прежде всего, расчет и конструирование печей, погрузочных элементов (подвесная кран-балка), вентиляции, электро- и водоснабжения, расчет численности персонала. Достаточно легко разместить такой цех при ремонтном предприятии, при отсутствии свободных площадей наиболее доступным вариантом будет постройка каркасно-щитового здания. Гибкая система конструирования печей позволяет собирать печь, созданную под определенную технологию. Для предлагаемой технологии наиболее удобной будет печь камерная с выкатным подом и максимальной загрузкой 4 тонны с потребляемой мощностью 300-320 кВт/час. Обычно такие печи делают с кирпичной кладкой, но так как предлагаемая технология требует поддержания точного температурного режима, необходимо модернизировать огнеупорную футеровку (кладку) путем ее замены на легковесные материалы на основе керамоволокна. Это приведет к значительной экономии электроэнергии, сокращению веса печи почти в 1,5 раза, улучшению теплофизических показателей, улучшению стойкости к термическим ударам, расширению температурного диапазона эксплуатации оборудования, увеличению срока эксплуатации до 3 раз. Результат соответствующего расчета приведен в табл. 1.

Таблица 1

Примерная расчетная стоимость камерной печи
с выкатным подом и загрузкой 4 тонны

Список материалов	Стоимость, тыс.рублей
Корпус (лист), уголок	100
Кирпич	300
Легковесные материалы на основе керамоволокна	1200
Приборы контроля, архиваторы данных	26
Термопары, провода для термопар	32
Электрочасть	210
Асбокартон	10
Нагревательные элементы	30
Другие металлоконструкции	30
Огнеупорный цемент	30
Работы по сборке, подключению	500
Итого	2 468

Каркасно-щитовое здание площадью 400 м² обойдется в сумму порядка 12,5 млн. руб. В стоимость входит разработка проекта, постройка здания, устройство полов, подведение электро- и водоснабжения, оснащение вентиляцией, кран-балкой. В табл. 2 приведены примерные расчетные затрат на создание цеха термической обработки.

Таблица 2

Примерные расчетные затраты на создание цеха термической обработки

Наименование	Стоимость, тыс. руб
Цех (вкл. проект, здание, устройство полов, подведение электро- и водоснабжения, вентиляция, кран балка.) – 400 м ²	12500
Печь камерная (2 шт)	5000
Хозяйственные нужды	1000
Погрузчик	2000
Итого	20500

Примерный расчет срока окупаемости проекта (количество персонала – 5 человек) при максимальной загрузке цеха термической обработки приведен в табл. 3. Расчет проведен на примере планируемых замен труб поверхностей нагрева в 2016 г. в структурных подразделениях АО «ТГК-11» г. Омск.

Таблица 3

Примерная расчетная рентабельность проекта (в год)

№ п/п	Наименование	Прогнозная стоимость, руб. (без НДС)
1.	Выручка по смете, без НДС	11 135 000
2.	Прямые расходы	2 500 000
2.1.	Материалы, оборудование	1 500 000
2.2.	Субподряд	0
2.3.	Транспортные расходы	1 000 000
3.	Чистая выручка	8 635 000
4.	Затраты на персонал	2 657 160
4.1.	Заработная плата (ФОТ)	1 980 000
4.2.	Отчисления во внебюджетные фонды (32,2%)	677 160
4.3.	Командировочные расходы	0

Окончание таблицы 3

4.4.	Доставка персонала	0
5.	Маржинальная прибыль по проекту	5 977 840
6.	Накладные расходы	
6.1.	Накладные расходы, min (108%)	2 138 400
6.2.	Накладные расходы, max (124%)	2 455 200
7.	Прибыль от продаж	
7.1.	Прибыль от продаж (при накладных расходах 108%), min	3 839 440
7.2.	Прибыль от продаж (при накладных расходах 124%), max	3 522 640
8.	Рентабельность от продаж, %	
8.1.	Рентабельность от продаж (при накладных расходах 108%), min %	34%
8.2.	Рентабельность от продаж (при накладных расходах 124%), max %	32%

Справочно

1	Средняя з/плата рабочих в месяц	33 000
2	Средняя выработка собственными силами на 1 чел, в мес.	143 917

Для расчета срока окупаемости необходимо разделить капитальные вложения на годовую прибыль. Срок окупаемости составляет $\approx 5,3$ года.

Расчет ресурсосбережения теплогенерирующих компаний на примере г. Омска выполнен применительно к тому, что при использовании возможностей цеха термической обработки потенциальным заказчиком рассмотренных работ являются теплогенерирующие компании. Примерные результаты такого расчета представлены в табл. 4.

Таблица 4

Расчетный ресурсосберегающий эффект
теплогенерирующих компаний г. Омска

Структурное подразделение АО «ТГК-11» (г. Омск)	ТЭЦ-3,4,5
Проведение термообработки труб поверхностей нагрева	
Планируемая замена труб в 2016, тонн	318
Стоимость замены (материалы + работа по монтажу), млн руб.	120,7

Срок эксплуатации труб без дополнительной термообработки, тыс. час	100
Затраты на 100 тыс. часов эксплуатации (трубы без дополнительной термообработки), млн.руб	1,207
Стоимость дополнительной термообработки, млн руб.	6,035
Срок эксплуатации труб после дополнительной термообработки, тыс. час	135
Затраты на 100 тыс. часов эксплуатации (трубы после дополнительной термообработки), млн руб.	0,937
Увеличение срока эксплуатации труб после дополнительной термообработки, год	4 (1 межремонтный период)
Ресурсосбережение, %	22
Ресурсосбережение, млн.руб	15,0

Таким образом, рекомендуемый режим двукратной нормализации при 920°C, обеспечивающий повышение коррозионной стойкости труб из малоуглеродистой стали 20, является достаточно простым, доступным и реализуемым в условиях тепловой электростанции способом. Примерные технико-экономические расчеты создания цеха термической обработки показывают, что срок окупаемости данного проекта составит 5,3 года. Рентабельность проекта в год (при накладных расходах 108%) составит 34 %. Рассчитанная экономия для теплогенерирующих предприятий составляет 20-25% (до 15 млн рублей в год для АО «ТГК-11», г. Омск) за счет увеличения срока службы поверхностей нагрева.

Заключение

Рекомендуемый режим двукратной нормализации при 920°C, обеспечивающий повышение коррозионной стойкости труб из малоуглеродистой стали 20, является достаточно простым, доступным и реализуемым в условиях тепловой электростанции способом. Проект по созданию цеха термической обработки является экономически выгодным и для реализующей его компании, и для теплогенерирующих компаний. Результаты выполненных исследований получили положительную оценку Фонда «Энергия

без границ», определяющего направления развития электроэнергетики Группы компаний «Интер РАО».

Список литературы

1. Основные положения (Концепция) технической политики в электроэнергетике России на период до 2030 г. – М.: ОАО РАО «ЕЭС России», 2008. – 91 с.

2. Прогноз научно-технического развития Российской Федерации на период до 2030 года. – М.: Министерство образования и науки Российской Федерации, 2013. – 72 с.

3. Брижан А. И., Грехов А. И., Жукова С. Ю., Шепелев А. В., Марченко Л. Г., Медведев А. П., Тетюева Т. В., Мухин М. Ю., Поповцев Ю. А., Галиченко В. П. Способ термической обработки труб / Патент РФ № 2085596 // Бюл. №21, 1997.

4. Помазова А. В., Панова Т. В., Геринг Г. И. Способ повышения коррозионной стойкости труб из малоуглеродистых сталей / Патент РФ № 2580256. // Бюл. № 10, 2016.

5. Помазова, А. В. Роль структурных факторов в повышении коррозионной стойкости трубной стали при циклической термообработке / А. В. Помазова, Т. В. Панова, Г. И. Геринг // Известия Томского политехнического университета. 2015. Т. 326. № 5. С. 15-21.

6. Помазова, А. В. Влияние многократной структурной перекристаллизации стали 20 на коррозионную стойкость труб поверхностей нагрева / А. В. Помазова, Т. В. Панова, Г. И. Геринг // Теплоэнергетика. – 2015. - № 4. - С. 26-31.

УДК 621.311.22:543.423.1

К. И. Фомиченко, А. А. Кузнецов, А. В. Помазова

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗМЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МИКРОСТРУКТУРЫ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ МЕТОДАМИ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА

В статье рассмотрено влияние размерных параметров микроструктуры стали 20 на аналитический сигнал оптико-эмиссионного спектрального анализа. Установлено, что

интенсивности спектральных линий Mn, Fe, Si, являются чувствительными к изменению средней площади зерна.

Введение

В настоящее время на предприятиях теплоэнергетики основным методом контроля микроструктуры металлов является металлографический анализ. Одним из основным контролируемых параметров при оптической микроскопии является размер зерен, поскольку размерность микроструктуры оказывает значительное влияние на эксплуатационные свойства тепломеханического оборудования. Было показано [1], что увеличение степени однородности зеренной микроструктуры оказывает значительное влияние на коррозионную стойкость труб, изготовленных из стали 20 и применяемых в качестве тепловоспринимающих элементов котлов. Металлография относится к разрушающим методам контроля и характеризуется тем, что при ее выполнении нарушается целостность объекта контроля (необходимо брать вырезку на исследование). Так же к недостаткам данного метода относятся длительность и высокая стоимость. Поэтому остаются актуальными вопросы разработки методов экспрессного контроля структуры металла. В настоящее время большое распространение получил атомно-эмиссионный спектральный анализ материалов. В работах [2, 3] была обнаружена зависимость результатов спектрального анализа от уровня микроповрежденности металла пароперепускных труб. Было обнаружено, что при одинаковом химическом составе различия в спектрах исследуемых образцов обусловлены разностью их структуры. Такое влияние структуры объясняется изменением условий испарения пробы, а также разностью соотношения атомов элемента между твердой и парообразной фазами [4]. В связи с вышеизложенным, в данной работе проведено исследование размерных характеристик микроструктуры стали 20 методами спектрального анализа. Для реализации поставленной цели были изготовлены образцы с известными структурными параметрами, на которых проведены испытания традиционными и спектральным методом.

Материалы и методики эксперимента

Образцы стали 20 (состав, массовых долей, %: углерод $0,175 \pm 0,016$, кремний $0,27 \pm 0,03$, марганец $0,45 \pm 0,03$, хром $0,081 \pm 0,008$, никель $0,033 \pm 0,008$, медь $0,041 \pm 0,008$, сера $0,004 \pm 0,002$, фосфор $0,007 \pm 0,002$, остальное железо), вырезанные из трубной заготовки в виде цилиндров с типоразмером $32,0 \times 6,0$ мм подвергались нормализации при температурах 900°C (образец №1), 910°C

(образец №2), 920°C (образец №3), 930°C (образец №4), 940°C (образец №5), 950 °C (образец №6). Нормализация проводилась в печи муфельной МИМП-10У. Для морфологического анализа структурных составляющих стали применялся металлографический анализатор фрагментов микроструктуры твердых тел «Ресурс С7», включающий в себя инвертированный микроскоп Olympus GF41 с программным обеспечением SIAMS Photolab (относительная погрешность измерений от $\pm 0,25$ % (при увеличении до $\times 500$ включительно) до $\pm 0,65$ % (при увеличении свыше $\times 500$)). Механические испытания проводились на разрывной машине Р-5 по ГОСТ 10006-80 (погрешность измерения составила 5%). Оптико-эмиссионный спектральный анализ выполнен с помощью спектрометра Аргон-5СФ по ГОСТ 18895-97 [5]. Погрешность анализа варьировалась от 3 % (при концентрации элементов от 1 %) до 10 % (при концентрации элементов до 1 %). Режим работы генератора выбирался с укороченным временем обжига, но при экспозиции, соответствующей нормальному режиму. Также в электрическую цепь вводились дополнительные сопротивления, для уменьшения мощности разряда (режим обыскривания – «слабый»). Благодаря такому режиму наблюдался наибольший отклик на изменение параметров спектра образцов, описанных ранее, в зависимости от структуры.

Результаты и их обсуждение

Механические свойства и размерные характеристики зерен термообработанных образцов приведены в табл.1. Установлено, что температура нормализации оказывает значительное влияние на механические свойства и микроструктурные свойства образцов из стали 20. По мере уменьшения размера зерна улучшается пластинчатость образцов и уменьшается их прочность, но остаются в рамках требований технических условий на поставку.

При рассмотрении спектров образцов полученных в ходе эксперимента, отмечен ряд линий имеющих наибольшие различия в уровнях абсолютных интенсивностей. Длины волн и значения абсолютных интенсивностей линий указаны в табл. 2.

Таблица 1

Механические свойства и структура образцов

Температура нормализации, °C	900	910	920	930	940	950
Параметр						
Предел прочности (σ_B), кгс/мм ²	54,1	55,2	48,7	55,6	55,6	56,6
Предел текучести (σ_T), кгс/мм ²	42,0	37,2	36,4	48,4	49,8	48,8
Относительное удлинение (δ), %	46,7	30,3	30,3	29,7	28,3	28,3
Относительное сужение (ψ), %	51,6	62,2	65,1	47,2	45,0	45,0
Средняя площадь зерна, мкм ²	71,2	61,8	55,8	55,7	60,3	48,7

Таблица 2

Параметры линий, чувствительных к изменению микроструктуры

t _{норм}	Измерение	Элемент	Линия сравнения	Элемент	Линия сравнения	Элемент	Линия сравнения
		C 193.090	Fe 192.599	Si 211.696	Fe 208.412	Mn 293.691	Fe 292.659
1	2	3	4	5	6	7	8
900	1	296605	324246	153800	459251	771109	647742
	2	255533	412329	220555	714663	1101342	920073
	Среднее	276069	368287,5	187177,5	586957	936225,5	783907,5
910	1	216691	405583	228475	705149	1193808	1031116
	2	227024	386813	220406	661942	1192156	1026925
	Среднее	221857,5	396198	224440,5	683545,5	1192982	1029020,5
920	1	274197	416131	193803	643390	1035501	843941
	2	272395	532287	278628	890912	1310878	1125237
	Среднее	273296	474209	236215,5	767151	1173189,5	984589
930	1	257986	478863	251040	804362	1267792	1056119
	2	268124	414870	206254	665458	1040781	852189
	Среднее	263055	446866,5	228647	734910	1154286,5	954154
940	1	228018	430564	241312	769428	1204266	1053071
	2	245274	470145	258447	820897	1324601	1186092
	Среднее	236646	450354,5	249879,5	795162,5	1264433,5	1119581,5
950	1	200298	354990	191873	580851	1044279	864340
	2	187191	285127	176397	501233	993404	846463
	Среднее	193744,5	320058,5	184135	541042	1018841,5	855401,5

При сравнении результатов спектрального анализа и структурных характеристик образцов, выявлено, что по мере увеличения средней площади зерна стали, происходит увеличение абсолютных интенсивностей линий Mn, Si, Fe. При достижении площади зерна в 60 мкм² и дальнейшем его увеличении происходит снижение уровня интенсивностей линий. Спектры образцов, наложенные друг на друга, приведены на рис. 1 и 2. На графике (рис.1) показано увеличение интенсивности линии Mn от увеличения средней площади зерна, на графике (рис.2) показано уменьшение интенсивности линии в зависимости от размера зерна. Данная зависимость наблюдается для линий Mn, Si, Fe чувствительных к изменению структуры.

Различия в интенсивностях некоторых линий достигают 30% что свидетельствует о явном отклике параметров спектра на изменение структуры стали образцов.

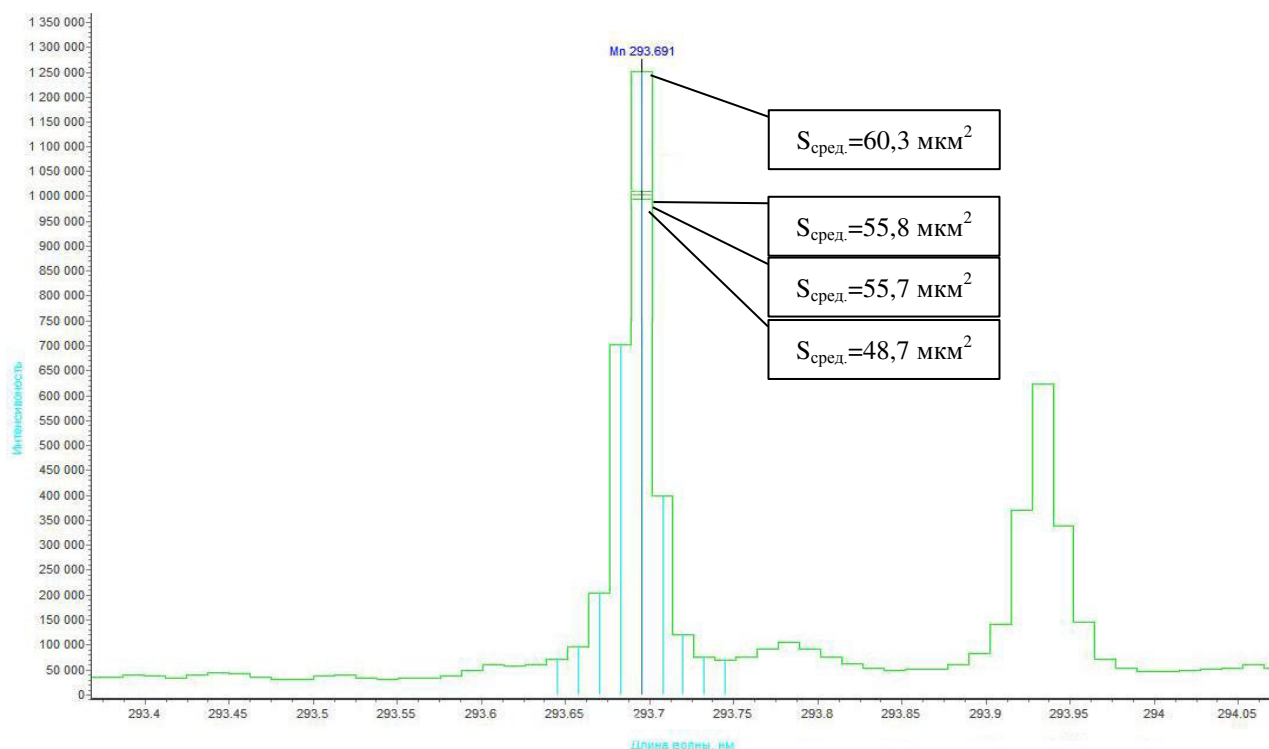


Рис. 1. Интенсивности спектральных линий Mn в диапазоне длин волн 293-294 нм

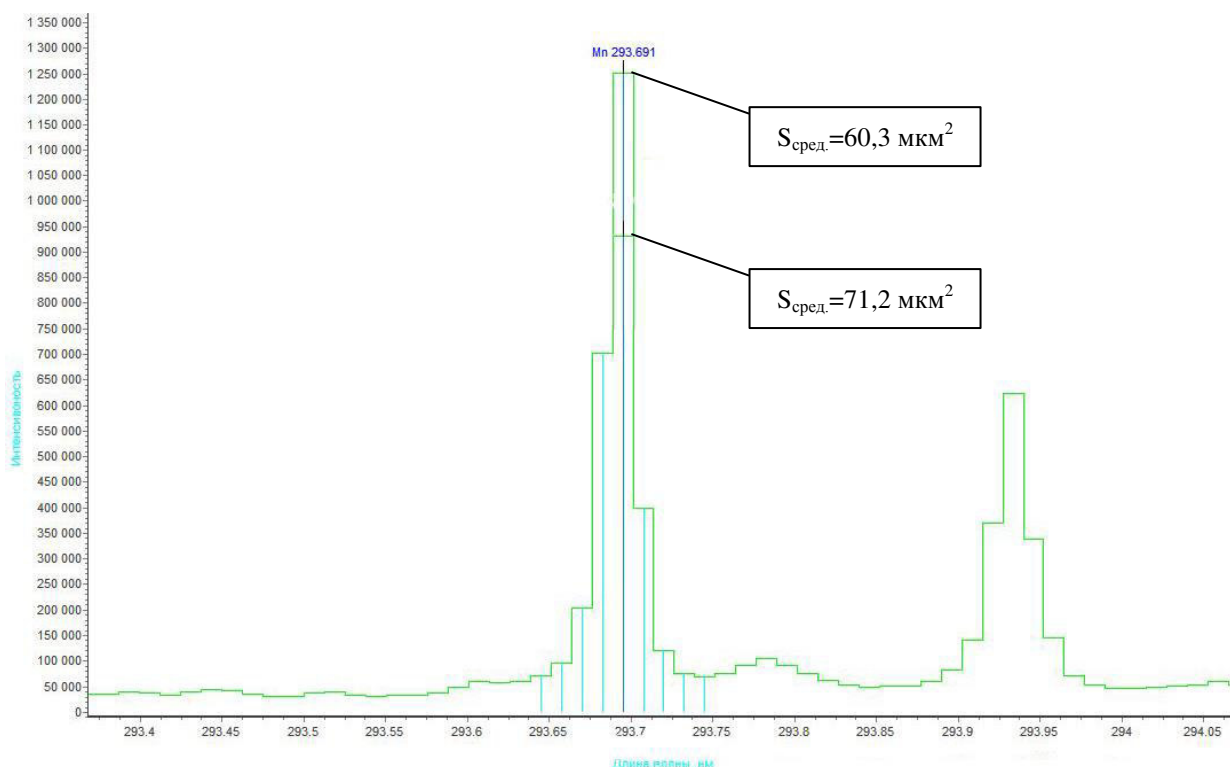


Рис. 2. Интенсивности спектральных линий Mn в диапазоне длин волн 293-294 нм

Заключение

Проведенные исследования показали, что при использовании «слабого» режима облучения, оптико-эмиссионный спектральный анализ является чувствительным к размерным характеристикам микроструктуры стали 20. При установлении функции зависимости «аналитический сигнал-структура» возможно расширение области использования приборов спектрального анализа

Список литературы

1. Помазова, А. В. Роль структурных факторов в повышении коррозионной стойкости трубной стали при циклической термообработке / А. В. Помазова, Т. В. Панова, Г. И. Геринг // Известия Томского политехнического университета. – 2015. – Т. 326. № 5. – С. 15-21.
2. Фомиченко, К. И. Исследование структурных отличий теплоустойчивой стали 12Х1МФ средствами спектрального анализа / К. И. Фомиченко, А. А. Кузнецов, А. В. Помазова // Сварка и диагностика. Екатеринбург: УрФУ, 2016. С. 452.
3. Фомиченко, К. И. Исследование теплоустойчивой стали 12Х1МФ в процессе длительной эксплуатации котельного оборудования методом спектрального анализа / К. И. Фомиченко, А. А. Кузнецов, А. В. Помазова //

Приборы и методы измерений, контроля качества и диагностики в промышленности и на транспорте. Омск: Омский гос. ун-т путей сообщения, 2016. С. 118.

4. Кузнецов, А. А. Оценка структурных параметров стали методом атомно-эмиссионной спектроскопии / А. А. Кузнецов, А. В. Глазырин // Омский научный вестник. №3 (112). 2012. С. 240 – 245.

5. ГОСТ 18895-97. Сталь. Метод фотоэлектрического спектрального анализа. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002 – 12 с.

УДК. 621.797 (075)

А. В. Захарец

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ПРИМЕНЕНИЯ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ ОТРАБОТАВШИХ РЕСУРС АВИАЦИОННЫХ ГТД

В данной статье проведено исследование, и установлены возможности использования ГТУ малой и средней мощности на базе авиационных ГТД, а также разработан алгоритм их перевода в стационарные энергетические ГТУ.

Наряду с газотурбинными установками (ГТУ) большой мощности 150...250 МВт, с учетом значительного перечня выходных характеристик, возможности эксплуатации в широком диапазоне климатических условий и других преимуществ, в генерирующих системах, а также в качестве приводов насосно-компрессорного и другого технологического оборудования находят все более широкое применение ГТУ мощностью 20...50МВт [1].

Конструктивная схема авиационных газотурбинных двигателей (ГТД) во многом совпадает со схемой стационарных энергетических установок с узлами: воздушный компрессор – камера сгорания – газовая турбина.

Энергетические установки, построенные на базе авиационных газотурбинных двигателей, находят применение в различных областях в качестве энергоприводов, источников сжатого воздуха с большим расходом, эксгаустеров, струйных и струйно-тепловых машин, используемых для перемещения грунта, очистки поверхности от пыли, грязи, льда и снега, диспергирования воды, вентиляции и т.п.

Жизненный цикл авиационных ГТД предусматривает ресурс 1...4 тысячи часов и выполнение 3...4 капитальных ремонтов, с назначением после каждого их них нового ресурса. Цикл заканчивается утилизацией двигателя.

Решение задач по применению ГТД в наземных условиях целесообразно предусматривать на основе следующих условий:

- необходимая эффективность использования ГТД в наземных условиях и продление его ресурса может быть обеспечено путем занижения тепловых и механических характеристик эксплуатации по сравнению с использованием в лётных условиях;

- после отработки ресурса авиационного ГТД его детали могут быть разбиты на 3 группы: полностью отбракованные, подлежащие восстановлению и пригодные для использования в наземных условиях;

- изготовление новых деталей взамен изношенных деталей для ГТУ может быть выполнено с использованием ресурсосберегающих технологий и новых конструкционных материалов;

- принимая во внимание особенности изнашивания большинства деталей и их последующего восстановления в пределах поверхностного слоя, затраты на ремонт авиационных ГТД при их переводе на условия наземного использования могут быть значительно снижены [2].

В табл. 1 приведены результаты анализа износа деталей авиационных ГТД в эксплуатации и результаты оценки возможности использования этих деталей в стационарных ГТУ.

Таблица 1

Дефекты изношенных деталей и их восстановление

Узел ГТД	Деталь	Материал	Дефект	Основа ТП восстановления
Компрессор	Лопатка 12, 13 ступени	Сплав ВТЗ-1	Коррозионный износ	Плазменное напыление и отделочное полирование
Турбина	Лопатка 1, 2 ступени	Сплав ЖС-6К	Износ уплотнительной бандажной полки	Наплавка и алмазное шлифование
Турбина	Лопатка 1, 2 ступени	Сплав ЖС-6К	Газовая эрозия пера	Плазменное напыление и отделочное полирование
Топливо-регулирующая установка	Плунжер	Сталь ХН 45 ДЮ	Износ по диаметру	Хромирование и абразивная доводка
Система смазки	Вал привода насоса	Сталь 35ХГСН	Износ шеек подшипника	Плазменное напыление и отделочное полирование

Установлено, что при переводе ГТД на заниженный режим эксплуатации дорогостоящие титановые и отдельные жаропрочные сплавы деталей могут быть заменены на материалы с меньшей ценой.

В ремонтных технологиях значительный эффект повышения работоспособности деталей может быть обеспечен за счет применения современных отделочных и упрочняющих технологий.

Укрупненный алгоритм выполнения работ по переводу отработавших свой ресурс авиационных ГТД в стационарные энергетические ГТУ приведен на рис. 1. Блоки 1, 2, 3, 4, 5 предусматривают решение задач постановления деталей, у которых выявлены дефекты при эксплуатации в летных условиях. Блок 4 учитывает изготовление новых деталей ГТУ взамен деталей, утилизированных после эксплуатации ГТД.

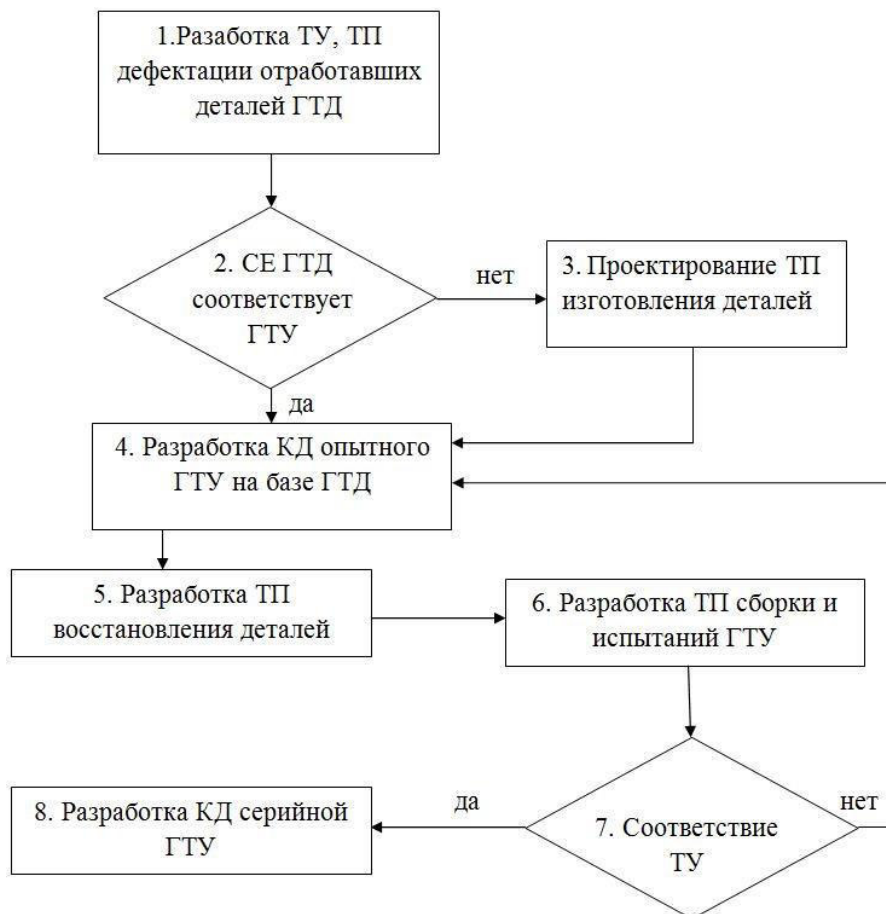


Рис. 1. Укрупненный алгоритм (неформализованный) перевода отработавших ресурс авиационного ГТД в энергетическую ГТУ: ТУ – технические условия, ТП – технологический процесс, СЕ – сборочная единица, КД – конструкторская документация

Ожидаемые показатели технико-экономической эффективности использования ГТУ в стационарных условиях приведены в табл. 2.

Таблица 2

Показатели относительной эффективности

Наименование	Виды выполняемых работ	Показатели экономической эффективности
Восстановление деталей	Дефектация, нанесение восстановительного слоя, размерная обработка	– (40...50) %
Проектные работы	Разработка конструкторской и технологической документации	– (20...40) %
Годовая стоимость электрической и тепловой энергии, вырабатываемой ГТУ	Выработка электрической и тепловой энергии ГТУ	+ (400...500) %
Годовые эксплуатационные расходы	Покупка запасных частей, зарплата персоналу и др.	– (50...60) %

100% - условно принятая цена ГТД. В рассмотренном случае экономическая эффективность составляет 250...390%.

Окончательное решение о целесообразности перевода авиационных ГТД, отработавших лётный ресурс, для использования в теплоэнергетических системах принимают на основе технико-экономического анализа ожидаемых результатов работ [4].

Наиболее высокие технико-экономические показатели решения рассматриваемых задач соответствует условиям, при которых работа по переводу ГТД будет выполнять предприятие двигателестроения – разработчик и изготовитель этого типа двигателей и когда вид производства будет серийным.

Список литературы

1. Елисеев, Ю. С. Испытание, обеспечение надежности и ремонт авиационных двигателей и энергетических установок / Ю. С. Елисеев, В. В.Крымов – М: Издательство МАИ, 2005. 537с.

2. Вивденко, Ю. Н. Обобщенная схема поверхностного слоя деталей при восстановлении / Ю. Н. Вивденко / Межвуз. тематич. науч. сборник. Уфа: Изд-во УАИ. 1994. с.13-19

3. Способ бесцентровой абразивной доводки и устройство для его осуществления. Вивденко Ю. Н., Макаренко Н. Г., Головаш А. Н., Кусик Б. В. Патент на изобретение RUS3244919, 17.07.2006.

4. СТО 70238424.27.040.001 – 2008 Газотурбинные установки. Организация эксплуатации и технического обслуживания.

УДК 620.9

Н. С. Трошина

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ КОГЕНЕРАЦИИ ПО СХЕМЕ ГАЗОДИЗЕЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

Проведен сравнительный анализ существующих когенерационных энергоустановок на базе ДВС, газодизельного и газопоршневого двигателей. Сделаны выводы о рациональном применении когенерации по схеме газодизельной энергетической установки.

С повышением экологической культуры и необходимостью экономии в потреблении топлива появляется необходимость в высокоэффективных способах преобразования и выработки энергии. Успешным технологическим решением проблемы стали автономные установки комбинированного производства тепловой и электрической энергии [1].

Наибольший экономический эффект когенерации может быть достигнут только при оптимальном использовании обоих видов энергии на месте их потребления. В этом случае бросовая энергия (тепло выхлопных газов и систем охлаждения агрегатов, приводящих в движение электрогенераторы, или излишнее давление в трубопроводах) может быть использована по прямому назначению [2].

Существуют три основных типа когенерационных установок (КУ): энергоблоки на базе двигателей внутреннего сгорания (ДВС), газотурбинные установки (ГТУ) и парогазовые установки (ПГУ) [1].

Газодизельная электростанция – это электрический генератор, у которого в качестве силовой установки используется ДВС, имеющий возможность работать на двух различных видах топлива – дизельном и любом виде газа. Такие устройства также получили названия двухтопливных электростанций [2].

Конструкция газодизельной электростанции объединила в себе преимущества двух видов генераторов – газовых и дизельных [3].

Дизельные генераторы имеют достаточно большой моторесурс, обладают высоким КПД и генерируемой мощностью, возможностью устойчивой работы в неблагоприятных условиях, неприхотливы к качеству топлива. Однако все эти достоинства перечеркиваются высокой стоимостью дизельного топлива и сильным загрязнением атмосферы выхлопными газами.

Электрические генераторы, работающие на газе, имеют свои преимущества – высокую экологичность работы, низкую стоимость топлива, гораздо больший моторесурс чем у дизель-генераторов. К качеству газа предъявляются высокие требования – он должен быть очищен от примесей серы. Мощность газового генератора значительно меньше в сравнении с дизель-генераторами с двигателем аналогичного объема. А пуск и стабильная работа в неблагоприятных условиях, особенно при низких температурах, крайне затруднительна. Недостатки достаточно существенные, они значительно ограничивают использование такого оборудования в отдаленных объектах и поселках, где требуется постоянное электроснабжение [2].

Газодизельный генератор использует дизельный двигатель, оптимизированный под подмешивание в топливно-воздушную систему от 30 до 80% от общего количества расходуемого топлива, а также практически полностью избавлен от недостатков газового и дизельного генераторов.

Пуск газодизельного генератора происходит на дизельном топливе, что обеспечивает легкость пусконаладочных работ. В дальнейшем двухтопливная система обеспечивает поступление газа в цилиндры дизельного двигателя. Поджог топливной смеси в цилиндрах происходит за счет воспламенения от сжатия минимальной запальной дозы дизельного топлива – всего около 20%. Такая технология позволяет использовать для работы двухтопливных генераторов абсолютно любой газ, в том числе и плохого качества низкого давления – природный, попутный, шахтный или даже биогаз. Экономия дизельного топлива позволяет добиться минимальных 50 г на 1 кВт электроэнергии [2].

Подача газа в цилиндры значительно увеличивает моторесурс двигателя. При этом основные характеристики генератора при работе в двухтопливном режиме практически идентичны при режиме на дизельном топливе. Устойчивость работы, прием нагрузки, коэффициент полезного действия изменяются лишь в незначительных пределах, в зависимости от процента использования газа. Благодаря особенности режима горения в цилиндрах сразу двух видов топлива, двигатель гораздо лучше откликается на изменение нагрузки даже при её резком увеличении или снижении [2].

Использование современных контроллеров для управления режимов работы двухтопливной системы питания двигателя позволяет добиться наиболее оптимальной работы генератора. При необходимости система управления сама подберет необходимое соотношение газа, топлива и воздуха, а в критические пиковые моменты переключит генератор в чисто дизельный режим работы [3].



Рис. 1. Газодизельный генератор

Для обеспечения качественным и бесперебойным электропитанием удаленных и неэлектрифицированных районов, нефтегазовых промыслов, сельскохозяйственных предприятий на базе газодизельных генераторов были созданы газодизельные электростанции.

Газодизельная электростанция состоит из газодизельного двигателя и электрогенератора, установленного на раме. Агрегат обеспечен шкафом управления и вспомогательного оборудования. Дополнительно, если электростанция устанавливается в помещении, устройство может оснащаться дополнительным топливным баком, глушителем, искрогасителем, газовыми баллонами. Наилучшими условиями для работы газодизеля будет подведенная газовая магистраль [3].

Повышение спроса на газодизели объясняется резким повышением цен на нефть в последние годы, что привело к применению природного газа в качестве основного топлива. Для воспламенения газа необходима подача воспламеняющей доли, около 30% дизельного топлива. После начала работы агрегат может продолжать работать только на газовом топливе. Газодизельные электростанции широкое распространение получили в странах, где нет своей нефтедобывающей отрасли. Например, многие европейские страны широко применяют газодизельные генераторы в качестве альтернативных источников

электропитания.



Рис. 2. Газодизельная электростанция

Одним из главных преимуществ такой системы, является двух – топливный метод работы [4]. В том случае, если прекращается подача газа, агрегат сразу переключается на дизельное топливо. Во время работы газодизельной установки уровень выбросов отработанных газов в атмосферу очень низкий. При работе на газодизельной смеси мощность генераторной установки увеличивается и при повышении нагрузки не происходит падение напряжения. Такие характеристики очень выгодны при обеспечении нагрузкой предприятий, работающих в круглосуточном режиме. При постоянной работе агрегата на газодизельной смеси, где газовая доля составляет 70-75%, увеличивается ресурс и срок службы масла. Недостаток газодизельных систем – они не могут полностью обходиться без дизельного топлива. Следствием данного недостатка является необходимость регулярного снабжения работающей электростанции дизельным топливом [4].

Газопоршневые агрегаты (ГПА) – традиционные дизельные электростанции, использующиеся в качестве резервных источников электроэнергии. При оснащении теплообменником или котлом-утилизатором они становятся мини-ТЭС. Бросовое тепло выхлопных газов, систем охлаждения и смазки двигателя идет на отопление и горячее водоснабжение. В механическую работу преобразуется треть энергии топлива. Остальная ее часть превращается в тепловую энергию.



- номинальный режим – режим максимальной нагрузки и скорости в течение 24 час. в сутки на протяжении года с остановкой на плановое обслуживание; работа с перегрузкой в 10% возможна в течении 2-х час. в сутки;
- резервный режим – круглосуточная работа без перегрузки в период простоя основного источника энергии.

- наиболее низкий уровень выбросов окислов азота, который можно устранить полностью при работе ДВС на богатой смеси с последующим дожиганием продуктов сгорания в котле;
- более высокий, по сравнению с ГТУ, ресурс работы, достигающий 150–200 тыс. час;
- наиболее низкий уровень капитальных затрат и эксплуатационных расходов на производство энергии;

– простота перехода с одного вида топлива на другой. ГПА не рекомендуется применять при потребности в получении большого количества теплоносителя с температурой более 110°C, при большой потребляемой мощности, а также при ограниченном числе пусков.

К недостаткам следует отнести:

- малый ресурс;
- большие эксплуатационные расходы, связанные с необходимостью периодически менять головки цилиндров;
- неспособность снижать нагрузку ниже 40% от максимальной паспортной на длительный период;
- неспособность обеспечивать значительное скачкообразное изменение нагрузки с сохранением качества вырабатываемой электроэнергии;
- высокие уровни шума и вибраций;
- необходимость постоянного обслуживания и установки дополнительного блока охлаждения ГПА, особенно если отводимое тепло не используется в дальнейшем [5].

Создание автономных энергоцентров имеет ряд преимуществ. Среди них основными являются короткие сроки строительства, повышение надежности теплоснабжения потребителей, снижение инерционности теплового регулирования и потерь в тепловых сетях.

Срок окупаемости ГПА составляет примерно два-три года эксплуатации. С учетом значительного снижения затрат на подключение объекта к электрическим и тепловым сетям срок окупаемости может быть и менее одного года.

На сегодняшний день газовые электростанции в чистом виде не используются, поскольку это ведёт к огромным потерям тепловой энергии.

Современное оборудование позволяет утилизировать тепло, выделяющееся при производстве электроэнергии. Это тепло используется для отопления, горячего энергоснабжения или в технологических целях. Эффективность использования топливных ресурсов в когенерационных установках на 30-40 % выше, чем при раздельном производстве электроэнергии и тепла.

Эффективность работы ГПА зависит от степени их загрузки. Заметим, что средняя загрузка агрегата в многоагрегатных мини-ТЭЦ значительно возрастает, что приводит к повышению их эффективности. Загрузка определяется в результате совместного рассмотрения уже указанных случайных

процессов: работоспособности агрегатов и величины нагрузки [6-7].

На основании результатов моделирования загрузки рассчитываются энергетические показатели ГПА, в частности потребление газа и выработка тепла, которое ГПА вытесняет с котловой выработки. Этому количеству тепла соответствует количество газа, рассчитанное исходя из характерного для рассматриваемых котельных удельного потребления газа. В технико-экономических обоснованиях мини-ТЭЦ на базе существующих котельных экономию от выработки тепловой энергии следует учитывать по топливной составляющей стоимости тепловой энергии (поскольку все прочие расходы предприятия остаются). Таким образом, рассчитанное из тепловой выработки мини-ТЭЦ количество газа следует вычитать из общего количества, получая расход так называемого «дополнительного» газа. Именно удельный расход дополнительного газа относится к основной характеристике эффективности мини-ТЭЦ.

Список литературы

1. Барков, В. М. Когенераторные технологии: возможности и перспективы [Электронный ресурс] / «ЭСКО»– электронный журнал энергосервисной компании «Экологические системы». – 2004. – №7. URL: <http://www.combienergy.ru/stat/876-Kogeneratornye-tehnologii-vozmojnosti-i-perspektivu> (дата обращения 01.03.2017 г.).
2. Газодизельная электростанция [Электронный ресурс] / Невский завод металлоконструкций. URL: <http://neva-zmk.ru/about/news/gazodizjelnaja-eljektrostantsija> (дата обращения 01.03.2017 г.).
3. Газодизельные электростанции [Электронный ресурс] / Электротехника в России: История развития электротехники и современность. URL: <http://www.e-scientist.ru/promishlennost/gazodizelnie-elektrostantsii> (дата обращения 02.03.2017 г.).
5. Мини-ТЭС, когенерационные технологии: возможности и Перспективы [Электронный ресурс] / Российский союз предприятий малого строительного бизнеса. – 2010. URL: <http://alternativa-projekt.ru/Proekt/mini%20tez.pdf> (дата обращения 03.03.2017 г.).
6. Томаров, Г. В. Мини-ТЭЦ на основе когенерационных технологий [Текст] / Г. В. Томаров, В. С. Рабенко, В. А. Буданов // Вестник ИГЭУ. – 2008. – №2. – С. 26–30.

7. Зубов, И. В. Распределительная когенерация на муниципальных котельных [Текст] / И. В. Зубов, А. С. Чистович, А. Ф. Мануйлов // Информационный бюллетень АЦТЭЭТ теплоэнергоэффективные технологии. – 2003. – №4. – С. 19–27.

УДК 621.3

М. Ю. Константинович

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОНАСОСНЫХ УСТАНОВОК НА ТЭЦ

В статье рассмотрены варианты применения теплонасосных установок на теплоэлектроцентралях. Предложены направления в этой области на примере Омской ТЭЦ-5.

Тепловые насосы, как технология, позволяющая частично вытеснить органическое топливо и обеспечить теплоснабжение с минимальными затратами первичной энергии, находится в центре внимания зарубежных и отечественных исследователей.

Тепловой насос – это экологически чистая система, позволяющая получать тепло для отопления и горячего водоснабжения за счет использования низкопотенциальных источников теплоты [1].

Тепловые насосы находят применение во многих областях нашей жизни: в коттеджном строительстве, в промышленности. [2]

Работа современных ТЭЦ связана с образованием больших объемов вторичных источников низкопотенциального тепла: пар и горячая вода, **обратная сетевая вода** систем теплоснабжения, **техническая вода** оборотного водоснабжения, уходящие газы котлов и технологических агрегатов, сточные воды, грунтовые воды и т.д. Современные высокотемпературные тепловые насосы серии IWHSS способны нагреть теплоноситель до +95°C, делая его пригодным для использования в системе местного отопления и горячего водоснабжения.

Применение теплонасосных установок на ТЭЦ весьма перспективно. При мировых тенденциях экономии топливных ресурсов, сбросное тепло в градирнях необходимо полезно использовать. Уже существует зарубежный опыт в этом направлении.

Оценки показывают, что даже при работе теплового насоса с

коэффициентом преобразования равным 5, себестоимость производимой тепловой энергии в несколько раз ниже, чем при традиционной комбинированной выработке на ТЭЦ.

Система технического водоснабжения Омской ТЭЦ-5 обратная с градирнями, состоит из двух очередей и обеспечивает эксплуатацию двух турбин ПТ-80/100-130/13, двух турбин Т-175/210-130, одной турбины Т-185/220-130 и вспомогательного оборудования.

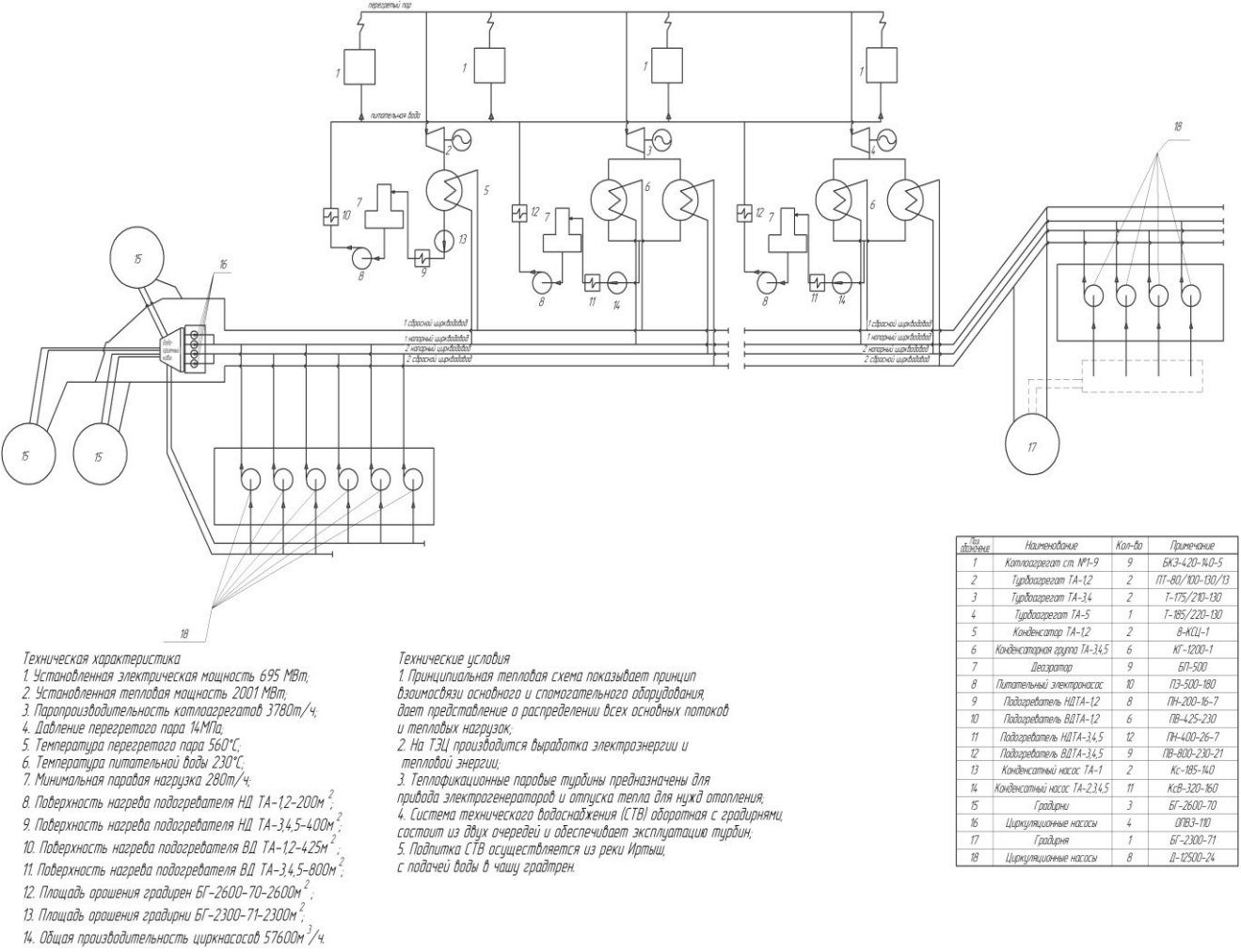


Рис. 1. Схема трубопроводов системы технического водоснабжения Омской ТЭЦ-5

На второй очереди станции с турбиной Т-185/220-130, охлаждение воды производится в градирне ст. № 4 типового проекта БГ-2300-71, площадью орошения 2300 м².

Таблица 1

Основные технические характеристики и конструктивное исполнение
градирни согласно проектов строительства

Наименование	Градирня ст. № 4
Типовой проект	БГ-2300-71
Дата ввода в эксплуатацию	1988
Площадь орошения, м ²	2300
Расчётная производительность, м ³ /ч	18600
Расчетный температурный перепад, °С	10
Расчетная тепловая нагрузка, Гкал/ч	186
Водосборный бассейн	железобетонный
Глубина водосборного бассейна, м	2,1
Высота вытяжной башни, м	74,4
Каркас	металлический
Материал обшивки каркаса	гофрированные листы алюминиевого сплава
Система водораспределения	напорная, трубная
Водораспределительный стояк	железобетонный
Тип сопел	ударного типа с чашечным отражателем
Ороситель	2-х ярусный, из плоских прессованных асбестоцементных листов, общая высота 2.5 м
Водоуловитель	блочно-жалюзийного типа из антисептированной древесины
Воздухорегулирующее устройство	5 ярусов поворотных металлических щитов

Проблемой второй очереди системы технического водоснабжения Омской ТЭЦ-5 является большая протяженность тепловых сетей для отопления ЦНС-2. Известно, чем дальше удалено местонахождение источника теплоты от потребителя, тем больше тепла теряется при транспортировании.

Большим источником вторичной теплоты является техническая вода градирни №4, которую возможно использовать в теплонасосной установке «вода-вода» для отопления здания ЦНС-2.

Эффективность использования теплового насоса определяется соотношением количества вырабатываемой тепловой и потребляемой электрической энергии (коэффициент трансформации). Эта величина зависит от разности между температурами источника теплоты и потребителя: чем она больше, тем меньше коэффициент трансформации [3].

Коэффициент преобразования ТНУ, определяется по формуле:

$$\varphi = \frac{Q_{\text{конд}}^{\text{ТНУ}}}{L_{\text{компр}}} \quad (1)$$

где $Q_{\text{конд}}^{\text{ТНУ}}$ – теплота, отводимая от конденсатора ТН, МВт;

$L_{\text{компр}}$ – работа, совершаемая компрессором ТН, МВт.

Иначе формулу можно преобразовать следующим образом:

$$\varphi = \alpha \frac{T_{\text{конд}}^{\text{ТНУ}}}{T_{\text{конд}}^{\text{ТНУ}} - T_{\text{исп}}} \quad (2)$$

где α – суммарный коэффициент потерь ТН,

$T_{\text{конд}}^{\text{ТНУ}}$ – температуры конденсации рабочего тела ТН, °С;

$T_{\text{исп}}$ – испарения рабочего тела ТН, °С.

Важнейшим условием эффективного применения тепловых насосов является удачное сочетание параметров источника низкопотенциального тепла и требуемых параметров теплоты у потребителя теплоты, которое присутствует на ТЭЦ-5.

Применение ТНУ на Омской ТЭЦ-5 выгодно не только технологически (улучшается вакуум в конденсаторе и повышается выработка электроэнергии), но и экономически (реальная экономия топлива или повышение тепловой мощности ТЭЦ без дополнительных расходов на топливо и излишних капитальных затрат).

В результате укрупненного расчета по тепловым потерям нагрузка ЦНС-2 составила 0,164 Гкал/ч. Необходимо подобрать тепловой насос «вода-вода», зная температурный перепад циркуляционной воды и нагрузку ЦНС-2. Выбранный тепловой насос позволит покрыть тепловую нагрузку исследуемого здания.

Список литературы

1. Филиппов, С. П. Перспективы применения тепловых насосов в России / С. П. Филиппов // Электронный журнал «Энергосовет». – 2011. – № 5. – С. 42 – 45.
2. Сибикин, Ю. Д. Альтернативные источники энергии / Ю. Д. Сибикин, М. Ю. Сибикин – М.: Изд-во РадиоСофт. 2015.
3. Стерлигов, В. В. Перспективы и возможности использования тепловых насосов в энергоснабжении Кузбасса / В. В. Стерлигов, Т. А. Михайличенко, Н. В. Турлак // ВЕСТНИК Сибирского государственного индустриального университета – 2012. – №1. – С. 34 – 37

БИОУСТАНОВКА В ЭНЕРГЕТИКЕ РЕСПУБЛИКИ КРЫМ

В данной статье проводится анализ современного состояния энергетики Крыма. На основе проведенного анализа рассматривается система теплоснабжения и ГВС детских оздоровительных лагерей «Мандарин», «Дельфин», «Бригантина», предложено систему теплоснабжения и ГВС разработать на основе биогазовой установки на курином помете.

1.1 Современное состояние энергетики Крыма

В настоящее время энергетику Крыма предлагается развивать с помощью возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Крымские энергетики находятся в области ВИЭ на уровне передовых позиций в мире. Общая характеристика Республики Крым (РК) представлена на рис.1.

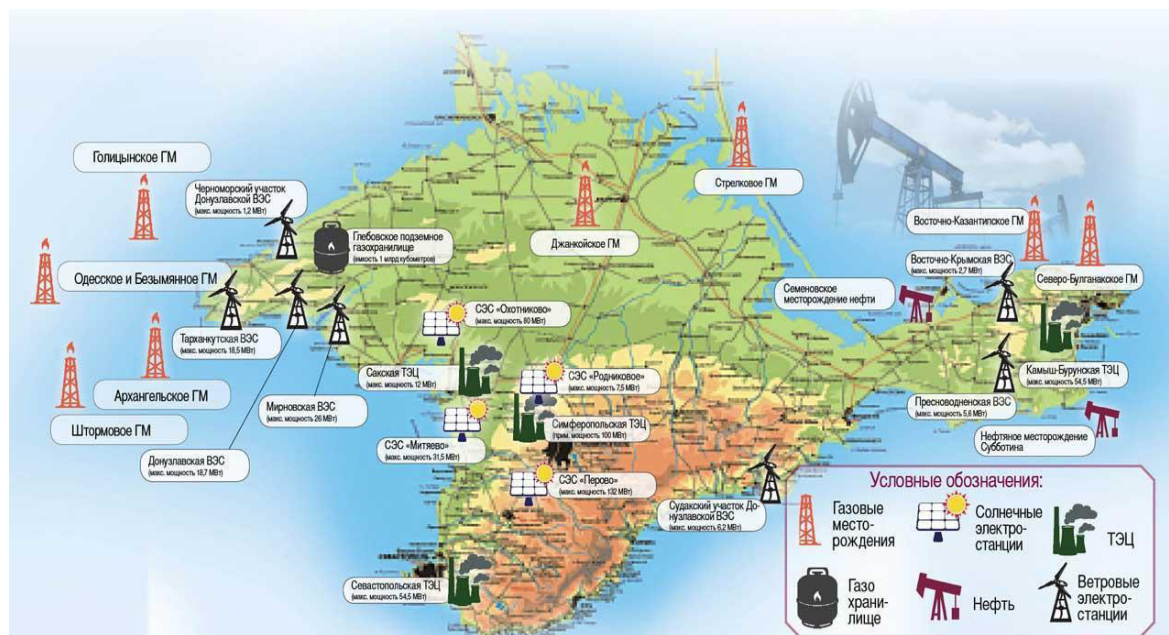


Рис. 1. Общая характеристика энергетики Республики Крым

Крым может стать научно-экспериментальной базой развития ВИЭ страны. Сейчас установленная мощность солнечных электростанций (СЭС) в РК составляет около 400 МВт, включая одну из крупнейших в мире Перовскую СЭС мощностью 105 МВт. На полуострове смонтированы также ВЭС – около 100 МВт, в том числе на современных ВЭУ единичной мощностью до 2,5 МВт. Необходимо обстоятельно исследовать этот опыт РК и разработать

комплексную программу использования существующих мощностей и их дальнейшего развития. Крым в достижимые сроки сможет обеспечить себя природным газом и нефтью, и решить проблемы водоснабжения. Изучение опыта РК потребует существенной корректировки всех ранее принятых решений при подготовке «Энергетической стратегии Российской Федерации до 2035 г.» и по развитию возобновляемой энергетики в нашей стране. Разработана программа развития энергетики Крыма, и общий расход на его энергоснабжение предварительно оценён в 90 – 100 млрд. руб. Эту и все другие программы придётся корректировать с учётом реалий настоящего времени.

В последние годы в России приняты действенные меры и законодательно закреплены основы для развития энергетики на базе ВИЭ как направления повышения энергоэффективности энергетики и экономики страны в целом. Соответствующими нормативными документами определены основные тенденции государственной политики в области развития электроэнергетики на ВИЭ на период до 2020 г. Утверждены порядок и критерии отнесения генерирующих объектов к объектам на основе ВИЭ и предоставления из федерального бюджета субсидий в порядке компенсации стоимости технологического присоединения генерирующих объектов с установленной генерирующей мощностью до 25 МВт. Федеральным законом «Об электроэнергетике» от 26.03.2003 № 35-ФЗ и его: корректировками предусмотрены механизмы поддержки ВИЭ на оптовом и розничных рынках электрической энергии и мощности. Стимулирование использования ВИЭ в России предусматривает два направления развития: на оптовом рынке в системе ЕЭС, и на розничном рынке в децентрализованной (распределённой) энергетике. На оптовом рынке с целью нормативной регламентации механизма поддержки предлагается осуществлять торговлю в рамках действующей системы торговли электроэнергией и мощностью в ценовых зонах оптового рынка с применением специального механизма торговли мощностью генерирующих объектов ВИЭ, аналогичного действующему механизму договоров о предоставлении мощности. По результатам конкурсного отбора инвестиционных проектов строительства генерирующих объектов на основе ВИЭ на территориях ценовых зон оптового рынка на период до 2020 г. определяются целевые показатели объёмов ввода установленной мощности генерации на основе ВИЭ - 5871 МВт и выработки электроэнергии 11586 ГВт·ч. С учётом отставания от передовых стран в производстве современного оборудования в 2017-2020 гг. в качестве

целевых показателей локализации производства основного и (или) вспомогательного генерирующего зарубежного оборудования, функционирующего на основе ВИЭ, приняты значения до 65-70%. На этой основе предполагается ввести конкурентный механизм составления перечня генерирующих объектов на ВИЭ, в отношении которых будут заключаться договоры о предоставлении мощности по итогам конкурсных отборов инвестиционных проектов их строительства.

Основная цель стимулирования привлечения ВИЭ на розничные рынки электрической энергии и мощности в локально изолированных от ЕЭС зонах России заключается в достижении региональных целей эффективного применения местных видов топлива и стимулирования использования энергетически эффективных технологий.

Полуостров Крым - здравица России, здесь находятся санатории, базы отдыха и детские оздоровительные лагеря. В XXI для поддержания такого статуса Крымский ФО должен интенсивно развивать и использовать все потенциальные возможности [1]. Две важнейшие задачи требуют радикального решения:

- энергетическая - снабжение промышленности, сельского хозяйства, жилищно-коммунального комплекса, детских лагерей и всего оборонного комплекса необходимым количеством электрической и тепловой энергии;
- обеспечение водой всех секторов экономики (особенно агропромышленного комплекса) полуострова требуемыми объемами пресной питьевой и технической водой.

Решение проблем энергетики должно развиваться по двум направлениям:

- 1) увеличение добычи природного газа и нефти на полуострове и шельфе;
- 2) активное развитие экономически выгодных секторов альтернативной энергетики: солнечной (гелиотермоустановки и фотоэлектричество), ветровой и биоэнергетики (биогаз, синтез-газ, биоуглеводороды - бензин, керосин и др.), гидроэнергетика, геотермальной энергетики.

К основным потребителям электроэнергии в Крыму относятся: промышленность (включая агропроизводство) – 35 %, сельское хозяйство – 22 %, население – 21 %, социальная сфера – 15 %, прочие потребители – 7 %. Суммарная мощность всех электростанций Крыма – 374,5 МВт. В 2008 г. [1] поставка электроэнергии из объединённой энергосистемы (ОЭС) составляла 3227,4 млн. кВт·ч (1132,8тыс. т у.т.); [2] генерация электроэнергии – 634,3 млн.

кВт·ч (222,6 тыс. т у.т.); [3] генерация электроэнергии за счёт использования ВИЭ – 4371 млн кВт·ч (15,341 тыс. т у.т.), или 1,35% от [1] и 6,89 % от [2]; при этом потреблялось 3905,4 млн. кВт·ч электроэнергии (1370,8 тыс. т у.т.).

Задача-максимум, стоящая перед современным российским Крымом, – увеличить производство электроэнергии на 3227,4 млн. кВт·ч, или в 5 раз. Крым всегда жил в условиях дефицита электроэнергии. Сегодня автономия обеспечивает себя электроэнергией всего на 7%. На каждого жителя республики приходится около 3 тыс. кВт·ч электроэнергии в год (для сравнения: в бывшем СССР в среднем – 6 тыс., в США – 11 тыс., в Норвегии – 15 тыс. кВт·ч/год на человека). Если взять за уровень подушное потребление электроэнергии бывшего СССР, то производство электроэнергии на человека в Крыму надо увеличить вдвое. Возможны два способа решения этой проблемы:

- 1) строительство новых ТЭЦ на природном газе;
- 2) максимальное использование альтернативной энергетики.

Крым имеет значительный потенциал для развития альтернативных источников энергии, таких как солнечная, ветровая и биоэнергетика. Работы в области альтернативной энергетики, проведённые на полуострове в советское время, показывают, что и сейчас могут быть задействованы в промышленных масштабах практически все виды ВИЭ. В 1986 г. в Крыму в городе Щёлкино появилась первая в СССР солнечная электростанция СЭС-5 мощностью 5,0 МВт (общая площадь зеркал 40 тыс. м²), которая в 1995 г. выработала более 2 млн. кВт·ч электроэнергии. В 1989 г. в колхозе «Большевик» Нижнегорского района Крымской области в соответствии с разделом «Биогаз» Межгосударственной программы «Биотехнология» Социалистического содружества была построена гелиобиогазовая станция для обработки отходов свиного комплекса на 24 тыс. голов, а в 1991 г. – биогазовая установка для отопления свинофермы на 200 голов (топливо – биогаз из отходов, теплоноситель – вода).

По современным оценкам специалистов, в Крыму потенциал нетрадиционной энергетики (ветровой, солнечной, геотермальной, волновой и биоэнергетики) может обеспечить получение электроэнергии в количестве, превышающем современные потребности в 4 – 5 раз. За девять месяцев 2013 г. с помощью ВИЭ было получено 285,7 млн. кВт·ч, что составляет 30 % от общего объёма производства энергии на полуострове (ещё в 2011 г. этот показатель находился на отметке в 7 %). За январь – сентябрь 2014 г. солнечные

электростанции дали 251,2 млн. кВт·ч и ветровые 34,6 млн. кВт·ч, покрыв вместе 6,6 % общего объёма энергопотребления Крыма. В начале ноября 2014 г. общая установленная мощность объектов «зелёной» энергетики в Крыму зафиксирована на уровне 295,5 МВт. в том числе: солнечные электростанции – 227,3 МВт, ветровые – 68,2 МВт.

Биогаз. В течение 2011 – 2012 гг. в Крыму должны были ввести в эксплуатацию 8 биогаз-когенерационных установок общей установленной мощностью 3200 кВт и производительностью 28 млн. кВт·ч/год электроэнергии с потенциальным замещением 3444 т у.т. Эти же установки должны выдавать 48 тыс. Гкал/год тепла с замещением 8,1 тыс. т у. т. В те же годы планировалось построить и ввести в эксплуатацию четыре теплогенерирующие установки, работающие на растительных и древесных отходах, с общим производством в год 8 тыс. Гкал тепла и замещением 2,64 тыс. т у.т.

Потенциал биоэнергетики Крыма в настоящее время составляет 598 тыс. т у.т., а потенциал отходов растениеводства и животноводства – 573 тыс. т у.т.

1.2 Система теплоснабжения детских оздоровительных лагерей в с. Песчаное

В данной статье рассмотрена система теплоснабжения и ГВС детских оздоровительных лагерей «Мандарин», «Дельфин», «Бригантина в с. Песчаное на основе биогазовой установки.

Климатические данные были приняты согласно СП 131.13330.2012 «Строительная климатология» для с. Песчаное Республика Крым [2]:

- температура для проектирования отопления – $t_{н.о.} = -15^{\circ}\text{C}$;
- температура для проектирования вентиляции – $t_{н.в.} = -4^{\circ}\text{C}$;
- продолжительность отопительного периода – 154 дней;
- расчетные тепловые потоки приведены в табл. 1.

Таблица 1

Расчетные тепловые потоки

№ п/п	Наименование детского оздоровительного лагеря	Тепловые потоки на отопление, МВт	Тепловые потоки на вентиляцию, МВт	Тепловые потоки на ГВС, МВт
1	«Мандарин»	0,5389	0,1855	0,7684
2	«Дельфин»	0,4166	0,0978	0,4375
3	«Бригантина»	0,3263	0,0511	0,3704

1. Определим средний тепловой поток за отопительный период по формуле, МВт:

$$Q_o = Q_o^p \times \left(\frac{t_B - t_H}{t_B - t_{HO}} \right), \quad (1)$$

где Q_o^p – расчетный тепловой поток на отопление, МВт;

t_B – средняя температура внутреннего воздуха отапливаемых зданий, °С;

t_H – температура начала и конца отопительного периода, °С;

t_{HO} – расчетная температура для проектирования системы отопления, °С.

2. Определим средний тепловой поток на вентиляцию за отопительный период по формуле, МВт:

$$Q_B = Q_B^p \times \left(\frac{t_B - t_H}{t_B - t_{HB}} \right), \quad (2)$$

где Q_B^p – расчетный тепловой поток на вентиляцию, МВт;

t_{HB} – расчетная температура для проектирования системы вентиляции, °С.

3. Определим среднечасовой тепловой поток на ГВС за неотапливаемый период по формуле, МВт:

$$Q_{Г.В}^{cp} = Q_{Г.В} \times \beta \times \left(\frac{t_{ГВ} - t_c}{t_{ГВ} - t} \right), \quad (3)$$

где $Q_{Г.В}$ – расчетный тепловой поток на ГВС, МВт;

β – коэффициент, учитывающий изменение среднего расхода воды на ГВС в неотапливаемый период;

$t_{ГВ}$ – температура теплоносителя ГВС, °С;

t_c – температура холодной (водопроводной) воды в неотапливаемый период, °С;

t – температура холодной воды в отопительный период, °С.

Полученные результаты сводим в табл. 2.

Таблица 2

Среднегодовые тепловые потоки на отопление, вентиляцию отопительный период и ГВС за неотапливаемый период

№ п/п	Наименование детского оздоровительного лагеря	Тепловые потоки на отопление, МВт	Тепловые потоки на вентиляцию, МВт	Тепловые потоки на ГВС, МВт
1	«Мандарин»	0,1601	0,0788	0,4918
2	«Дельфин»	0,1203	0,0388	0,2800
3	«Бригантина»	0,0956	0,0204	0,2370
4	Итого:	0,376	0,138	1,008

4. Суммарные тепловые потоки для детских оздоровительных лагерей «Мандарин», «Дельфин», «Бригантина» определяются по формуле, МВт:

$$\sum Q = Q_o + Q_{\varepsilon} + Q_{\text{г.в}}^{\text{сп}}, \quad (4)$$
$$\sum Q = 0,376 + 0,138 + 1,008 = 1,52 \text{ МВт}$$

Расчеты показали, что для бесперебойного теплоснабжения необходимо подавать теплоту в количестве 1,52 МВт. Система теплоснабжения должна функционировать на базе биогазовой установки от небольшой птицефабрики, которая расположена на расстоянии 700 м от лагерей.

Список литературы

1. Панцхава, Е. С. Альтернативные биологические источники энергии Крыма / Е. С. Панцхава // Энергия: экономика, техника, экология / ФГУП «Наука». – М., 2015. – № 9. – С. 13 – 17.

2. Тихомиров, А. К. Теплоснабжение района города: Учеб. пособие / А. К. Тихомиров / Тихоокеан. гос. ун-т. – Хабаровск, 2006. – 135 с.

УДК 658.567.1

М. С. Шерстобитов

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВА ДЛЯ ГОРОДА ОМСКА

В статье представлена методика расчета теплоты сгорания твердых коммунальных отходов (ТКО) на основании данных морфологического состава. Проведен сравнительный анализ ТКО и низкосортных топлив.

Топливо – это вещество способное вступать с воздухом (кислородом) в быстропротекающее химическое взаимодействие. В процессе этой реакции выделяется большое количество тепловой энергии, с попутным выделением газообразных продуктов сгорания и твердых остатков в виде золы и шлака. Вещества, относящиеся к топливу должны отвечать следующим требованиям: доступность (распространенность), быть химически активными, обладать достаточным энергетическим потенциалом на единицу вещества.

Доступность. Население города составляло по данным Госстата на 2016 г. около 1,17 млн. человек. Для инженерных расчетов примем образование ТКО на одного человека в год – 350 кг/год, при средней плотности 250 кг/м³. [1].

Годовой объем ТКО, поступающих на полигоны города для захоронения, будет равен 411 тыс. тонн. Образование мусора – процесс постоянный, ежедневный. Соответственно, бытовые отходы как источник сырья – неисчерпаем, что удовлетворяет условию доступности.

Химически активное вещество. На мусорных свалках, реже на полигонах хранения ТКО регулярно возникают возгорания. Причиной этого является: самовозгорание, вследствие выделения тепловой энергии в процессе разложения; возгорание элементов питания (литий-ионных батарей); умышленные поджоги. Процесс горения может продолжаться длительное время, что свидетельствует о химической активности ТКО.

Достаточная калорийность на единицу рабочей массы вещества. Анализируя приведенный состав отходов г. Омска по средним показателям: плотность ТКО – 250 кг/м³, влажность – 47%, зольность – 42 % (на сухое вещество) [2]. Морфологический состав отходов г. Омска приведен в табл. 1. Существенную часть составляют материалы с высоким содержанием углерода: бумага, картон, текстиль, деревья, кожа, резина, пластмасса, до 41 % на сухую массу.

На основе табличных значений построена круговая диаграмма, представленная на рис. 1, на которой наглядно видно, что в отходах доминируют пищевые и бумажные отходы.

Таблица 1

Морфологический состав твердых бытовых отходов для г. Омска

Показатели, % по массе	Сезоны года			
	Зима	Весна	Лето	Осень
Бумага, картон	19,3	17,1	26,3	20,4
Пищевые отходы	26,6	25,9	24,1	37,9
Дерево, листья	5	5,5	5,8	4,3
Металл	8,3	8,2	7,3	5,6
Текстиль	7,6	6,6	4,5	6
Кости	6,9	5,2	4,6	3,9
Стекло	9,2	11,7	7,4	7,1
Кожа, резина	3,7	5,9	6,5	3,6
Камни	1,6	1,3	3,8	0,7
Пластмасса	4	4,9	4,1	3,8
Пластмасса на основе хлора	0,9	1,2	0,9	0,8
Отсев не менее 16 мм	7,8	7,7	5,6	6,7
Плотность, кг/м ³	180	240	220	265
Влажность, %	45,9	45,6	43,9	53,7
Зольность, % (на сухое в-во)	40,2	49,4	47,7	31,5

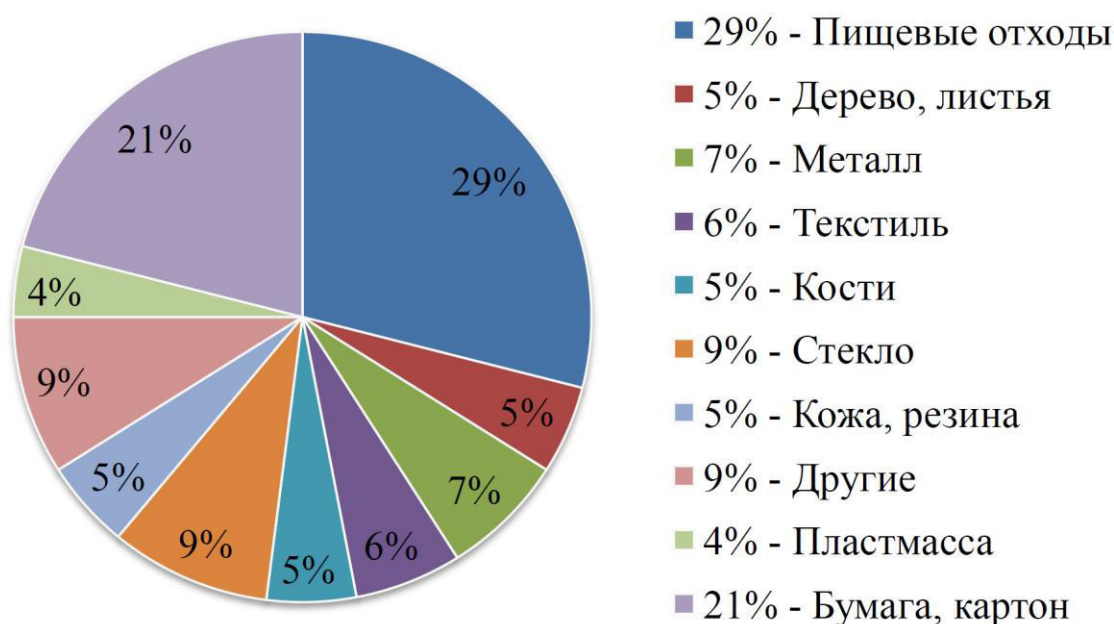


Рис. 1. Среднегодовой состав ТКО в г. Омске

Расчет калорийности ТКО г. Омска

Элементный состав отдельных компонентов ТКО представлен в табл. 2 [3].

Таблица 2

Элементарный состав ТКО

Наименование компонента ТКО	Элементарный состав на горючую массу, %				
	C_i^{Γ}	H_i^{Γ}	O_i^{Γ}	N_i^{Γ}	S_i^{Γ}
Бумага	46,2	6,2	47,1	0,27	0,23
Пищевые отходы	53,6	7,7	34,1	4	0,6
Текстиль	56,1	6,8	32,2	4,8	0,1
Древесина	51	6,1	42,6	0,2	0,1
Отсев	46,4	6,3	47	0	0,3
Пластмасса	67,7	9,3	21,5	1,1	0,4
Кожа, резина	77,9	6	15,1	0,3	0,7

Учитывая морфологический состав отходов г. Омска и элементарный состав, содержания отдельных элементов в составе ТКО, произведем расчет элементарного состава отходов на сухую массу для г. Омска по следующим формулам:

$$\begin{aligned}
 C_{\text{общ}}^{\Gamma} &= 0,01 \sum_i C_i^{\Gamma} \cdot x_i ; H_{\text{общ}}^{\Gamma} = 0,01 \sum_i H_i^{\Gamma} \cdot x_i ; O_{\text{общ}}^{\Gamma} = 0,01 \sum_i O_i^{\Gamma} \cdot x_i ; \\
 S_{\text{общ}}^{\Gamma} &= 0,01 \sum_i S_i^{\Gamma} \cdot x_i ; N_{\text{общ}}^{\Gamma} = 0,01 \sum_i N_i^{\Gamma} \cdot x_i .
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

где $C_{\text{общ}}^{\Gamma}$, $H_{\text{общ}}^{\Gamma}$, $O_{\text{общ}}^{\Gamma}$, $S_{\text{общ}}^{\Gamma}$, $N_{\text{общ}}^{\Gamma}$ - общее содержание углерода, водорода, кислорода, серы, азота в ТКО на горючую массу.

Затем произведем расчет элементарного состава на рабочую массу.

$$\begin{aligned} C_{\text{общ}}^{\text{P}} &= C_{\text{i}}^{\Gamma} \cdot \left(\frac{100 - A_{\text{общ}}^{\text{P}} - W_{\text{общ}}^{\text{P}}}{100} \right); H_{\text{общ}}^{\text{P}} = H_{\text{i}}^{\Gamma} \cdot \left(\frac{100 - A_{\text{общ}}^{\text{P}} - W_{\text{общ}}^{\text{P}}}{100} \right); \\ O_{\text{общ}}^{\text{P}} &= O_{\text{i}}^{\Gamma} \cdot \left(\frac{100 - A_{\text{общ}}^{\text{P}} - W_{\text{общ}}^{\text{P}}}{100} \right); S_{\text{общ}}^{\text{P}} = S_{\text{i}}^{\Gamma} \cdot \left(\frac{100 - A_{\text{общ}}^{\text{P}} - W_{\text{общ}}^{\text{P}}}{100} \right); \\ N_{\text{общ}}^{\text{P}} &= N_{\text{i}}^{\Gamma} \cdot \left(\frac{100 - A_{\text{общ}}^{\text{P}} - W_{\text{общ}}^{\text{P}}}{100} \right), \end{aligned} \quad (2)$$

где $C_{\text{общ}}^{\text{P}}$, $H_{\text{общ}}^{\text{P}}$, $O_{\text{общ}}^{\text{P}}$, $S_{\text{общ}}^{\text{P}}$, $N_{\text{общ}}^{\text{P}}$, $A_{\text{общ}}^{\text{P}}$, $W_{\text{общ}}^{\text{P}}$ - общее содержание углерода, водорода, кислорода, серы, азота, золы, влаги в ТКО на рабочую массу.

Определим низшую теплоту сгорания по формуле Д. И. Менделеева:

$$Q_{\text{H}}^{\text{P}} = 339,13 \cdot C_{\text{общ}}^{\text{P}} + 300 \cdot H_{\text{общ}}^{\text{P}} - 108,86 \cdot (O_{\text{общ}}^{\text{P}} - S_{\text{общ}}^{\text{P}}) - 25,12 \cdot (9 \cdot H_{\text{общ}}^{\text{P}} + W_{\text{общ}}^{\text{P}}). \quad (3)$$

Результаты расчета сведены в табл. 3.

Таблица 3

Элементарный состав ТКО и низшая рабочая теплота сгорания для г. Омска

Элементарный состав ТКО на горючую массу, %							
$C_{\text{общ}}^{\Gamma}$	$H_{\text{общ}}^{\Gamma}$	$O_{\text{общ}}^{\Gamma}$	$N_{\text{общ}}^{\Gamma}$	$S_{\text{общ}}^{\Gamma}$			
53,30	6,97	37,29	2,05	0,39			
Элементарный состав ТКО на рабочую массу, %							
$C_{\text{общ}}^{\Gamma}$	$H_{\text{общ}}^{\Gamma}$	$O_{\text{общ}}^{\Gamma}$	$N_{\text{общ}}^{\Gamma}$	$S_{\text{общ}}^{\Gamma}$	$A_{\text{общ}}^{\text{P}}$	$W_{\text{общ}}^{\text{P}}$	Q_{H}^{P} , кДж/кг
16,38	2,14	11,46	0,63	0,12	22,26	47	5346,7

В табл. 4 представлен среднегодовой элементарный состав и низшая теплота сгорания на рабочую массу некоторых низкокалорийных твердых топлив и ТКО крупных городов России в том числе и г. Омска.

Таблица 4

Энергетический потенциал ТКО и низкосортных топлив

Материал	Элементарный состав, %						
	C^{P}	H^{P}	O^{P}	N^{P}	S^{P}	A^{P}	W^{P}
Торф	24,7	2,6	15,2	1,1	0,1	6,3	50
Дрова	30,3	3,6	25,1	0,4	-	0,6	40
Москва (ТКО)	21,3	2,9	16,9	0,9	0,2	22	36,5
Екатеринбург (ТКО)	17,4	2,24	13,85	0,55	0,11	31,09	34,76
Нижний Новгород (ТКО)	19,62	2,62	16,67	0,56	0,11	20,51	39,91
Владивосток (ТКО)	16,34	2,18	13,27	0,59	0,13	24,35	43,14
Омск (ТКО)	16,38	2,14	11,46	0,63	0,12	22,26	47

Элементарный состав ТКО для г. Омска рассчитан из морфологического состава [2].

Данные таблицы 4 свидетельствуют о том, что теплотворная способность твердых бытовых отходов сопоставима с низкокалорийными топливами.

В мире насчитывается более 3000 действующих предприятий по термической утилизации отходов. Современные технологии позволяют размещать мусоросжигательные заводы в густонаселенных городских районах. В таких странах, как Швеция, Южная Корея, Япония проблема утилизации мусора решена практически полностью, причем существенную долю на себя берут термические способы уничтожения отходов.

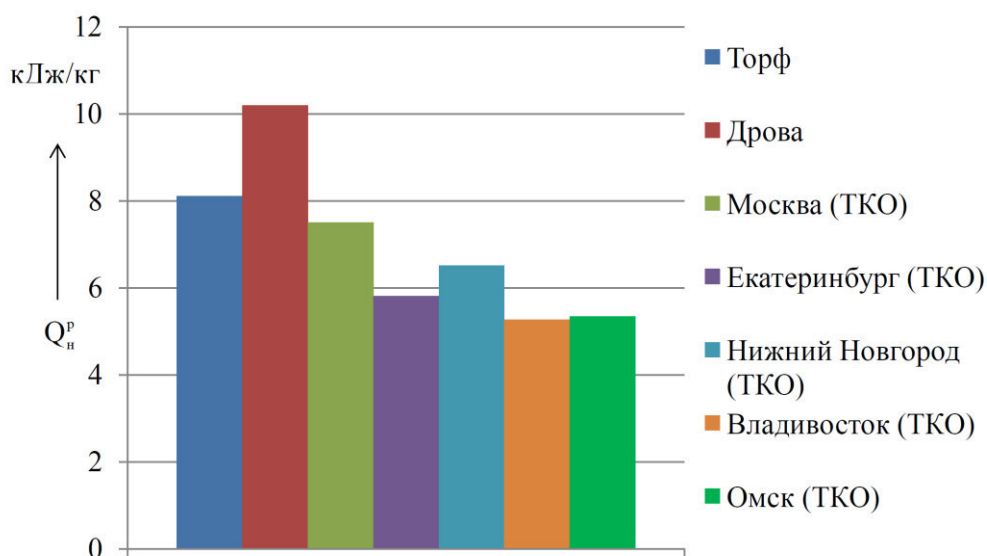


Рис. 2. Энергетический потенциал ТКО и низкосортных топлив

Ориентируясь на морфологический состав отходов г. Омска, расчетная тепловая характеристика топлива составляет – 5347 кДж/кг. Учитывая годовой объем накопления ТКО, вывозимый на городские свалки, энергетический эквивалент составит порядка 499,4 Гкал/год.

Список литературы

1. «Методические рекомендации по формированию тарифов на услуги по уничтожению, утилизации и захоронению твердых бытовых отходов» разработаны Институтом экономики ЖКХ. КонсультантПлюс.
2. Лебедев, В.М. Теплоэнергетика региона / В. М. Лебедев – Омск, 1998. – С. 102.
3. Санитарная очистка и уборка населенных мест: Справочник / А. Н. Мирный, Н. Ф. Абрамов и др. – М.: Стройиздат, 1990. – 413 с.

К. Е. Щербинин

СОЛНЕЧНЫЙ КОЛЛЕКТОР КАК РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ

В статье рассмотрен способ энергосбережения и энергообеспечения зданий с помощью гибрида солнечного коллектора и фотоэлектрической панели. Его преимущества и недостатки, а также его совместимость с погодными условиями и временами года. Стоимость затрат на покупку, установку и обслуживание в течение года.

Сегодня тепловые электростанции вырабатывают наибольшую часть от общей выработки электроэнергии на планете, но вместе с тем расходуют немало полезных ископаемых и выбрасывают в атмосферу львиную долю вредных веществ. Коэффициент полезного действия тепловых электростанций варьируется от 40 – 50%. С таким КПД уже через 200 – 250 лет на Земле не останется ископаемого угля, а ведь уголь это основное топливо и как следствие основной источник энергии. Поэтому на сегодняшний день наиболее актуальна проблема экономии, сохранения и сбережения электроэнергии, а также переход на возобновляемые и экологически чистые источники энергии.

Существует большое количество экологических и экономичных источников энергии, например: солнечные панели, солнечные коллекторы, ветровые энергоустановки, геотермальные источники и другие. Все они, во-первых, являются возобновляемыми источниками энергии, во-вторых, способны располагаться прямо на месте потребления энергии, и, следовательно, экономичны.

Коэффициент полезного действие этих систем:

1. солнечные панели – 44 %;
2. ветровая энергоустановка – 30 %;
3. станции на геотермальных источниках – до 90 %;
4. солнечные коллектора – от 65 до 95 %.

КПД альтернативных источников энергии ничем не уступает КПД тепловых электростанций. Также, повышению эффективности таких источников послужит неограниченное количество этих установок и их массовое распространение по населенным пунктам.

В данной статье решение проблемы энергосбережения и энергоснабжения

будет показано на примере солнечного коллектора. Будет описан принцип работы установки, ее совместимость с различными погодными условиями и временами года, стоимость затрат на установку и техническое обслуживание, а также перспективность солнечного коллектора в наши дни.

Солнечный коллектор – устройство для сбора тепловой энергии Солнца (гелиоустановка), переносимой видимым светом и ближним инфракрасным излучением. В отличие от солнечных батарей, производящих непосредственно электричество, солнечный коллектор производит нагрев теплоносителя. Различают вакуумный солнечный коллектор и плоский солнечный коллектор.



Рис. 1. Вакуумный солнечный коллектор

Солнечный коллектор состоит из: поглотителя (темный листовой металл, абсорбер или абсолютно черное тело (повышенный КПД)), жидкоститеплоносителя (морозоустойчивая смесь воды (60%) и пропиленгликоля (40%)), труб для переноса жидкоститеплоносителя, бойлера, теплообменника с окружающей средой.

Строение самой трубки коллектора схоже со строением термоса. Жидкость-теплоноситель нагревается от солнечных лучей, но тепло не уходит обратно в среду. Также бойлер способен аккумулировать воду на некоторый промежуток времени, что также является плюсом такой системы.

Устройство солнечного коллектора: коллектор поглощает солнечное излучение и превращает его благодаря поглотителю в тепло. Тепло поглощается жидкостью-теплоносителем, затем насосом гонится по трубам в поглотитель, где тепло по теплообменнику передается на хозяйственные нужды.

Также существует вариант гибрида солнечного коллектора и

фотоэлектрической панели, что позволяет снабжать здание не только теплом, но также и электричеством.

Солнечный коллектор позволяет собираться тепло в любую погоду, а также время года (разница лишь в количестве получаемой теплоты). Летом количество теплоты будет значительно больше, чем зимой, поскольку меньше ясных солнечных дней, день зимой значительно короче, солнечные лучи падают под меньшим углом, за счет низкой температуры окружающей среды будут большие теплопотери. В зимнее время лучше использовать вакуумные коллекторы, потому что они способны поддерживать температуру до $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$ и выше, отдавая ее в отопительную систему.

Фотоэлектрические панели, имеющие КПД 40-45%, способны обеспечить электрическим током небольшие здания, частные жилые дома.

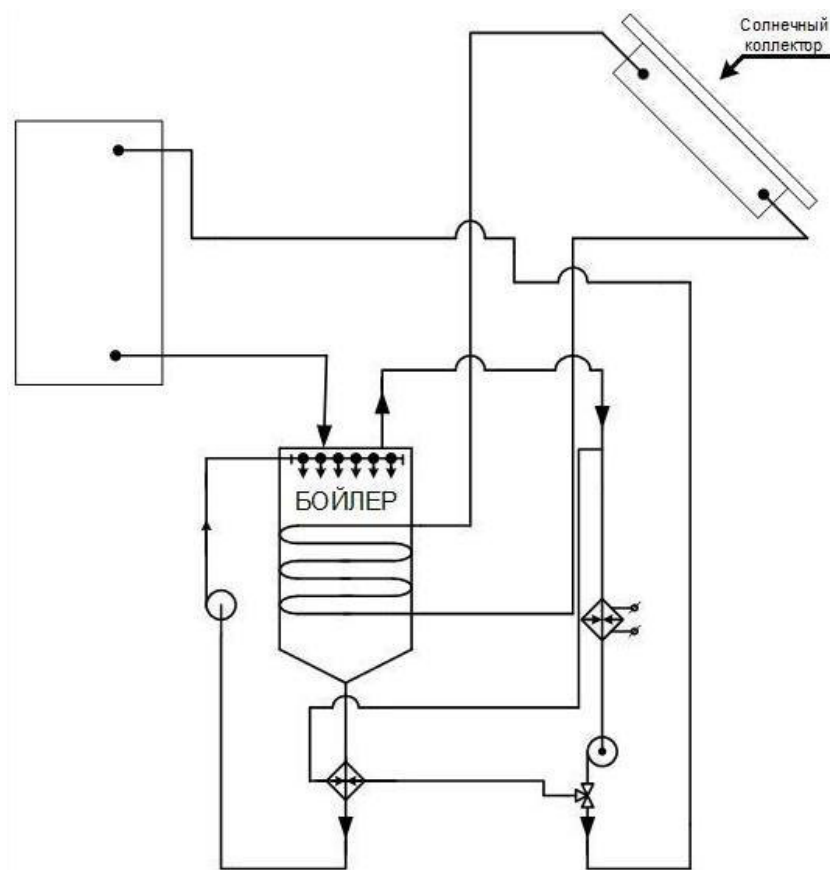


Рис. 2. Упрощенная схема солнечного коллектора

Стоимость одного коллектора варьируется в пределах 30 000 руб. Однако стоит заметить, что для отопления дома необходимо около 10 солнечных коллекторов, накопительный бак или бойлер около 200 000 руб., стоимость доставки и установки индивидуальная для каждой компании. Стоимость

фотоэлектронных панелей варьируется от 100 до 200 тыс. руб. В сумме на покупку, установку и подключение понадобится в среднем 800 тыс. руб. В дальнейшем затраты на обслуживание сведутся к минимуму, а окупаемость с каждым годом будет только больше, т. к. такая система, как уже было сказано, способна заменить полноценную электростанцию.

Итоги сведем в табл. 1

Таблица 1

Преимущества и недостатки солнечных коллекторов

Для вакуумного солнечного коллектора	
Преимущества	Недостатки
Эффективная работа в любое время года	Высокая стоимость
Высока теплоотдача	Утренняя изморозь
Низкие теплопотери	Неспособность очистки от снега
Экологичный	Рабочий угол не менее 20°
Энергия на дому	
Для плоского коллектора	
Преимущества	Недостатки
Способность очищаться о снега и инея	Высокие теплопотери
Высокая производительность летом	Низкая работоспособность в холодное время
Возможность работы под любым углом	Сложность монтажа
Меньшая начальная стоимость	
Энергия на дому	
Для фотоэлектрической панели	
Преимущества	Недостатки
Постоянство	Большие площади
Возобновляемые	Панели не работают ночью
Экологичные	Имеют токсичные вещества в составе
Бесшумные	Высокая цена
Энергия на дому	

Вывод: солнечные коллекторы в совместимости с фотоэлектрической панелью являются надежной и высокопроизводительной заменой обычным источникам тепла и электроэнергии, несмотря на высокую начальную стоимость. Они могут послужить в дальнейшей хорошей заменой

электростанциям, находясь прямо у вас на дому.

Список литературы

1. Стрельников, В. А. Применение солнечных коллекторов для горячего водоснабжения и отопления жилых зданий / В. А. Стрельников, И. О. Швец, К. Ю. Стоянов // Современные технологии в строительстве, теплогазоснабжении и энергообеспечении: Материалы междунар. науч-практ. конф. / Саратовский гос. аграрный ун-т. – Саратов, 2015. – С. 216 – 219.

2. Муколянц, А. А. Энергоэффективность использования установки горячего водоснабжения на основе солнечного коллектора / А. А. Муколянц, А. Р. Музафаров // Ceteris Paribus / Европейский фонд инновационного развития. – М. – № 2. – 2015. С. 8 – 12.

УДК 656.2.073.436

А. Н. Гайденоко, М. К. Алафьев

К ВОПРОСУ О ВНЕДРЕНИИ СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ ПОЖАРОТУШЕНИЯ НА ОБЪЕКТАХ И ТРАНСПОРТЕ РЖД

Рассматриваются инновационные подходы возможного внедрения современных средств тушения пожаров на объектах, подвижном составе РЖД, а также грузов, перевозимых железнодорожным транспортом РФ.

Железные дороги в России были и остаются основным видом транспорта. На его долю приходится примерно 80% объема грузовых и 40% пассажирских перевозок. Являясь основой транспортной системы страны, железные дороги обладают чрезвычайно важным экономическим, государственным, оборонным и социальным значением. Совокупность мер, обеспечивающих безаварийную перевозку пассажиров, доставку и хранение грузов, призвана гарантировать безопасность всех видов транспортных перевозок. Под безопасностью транспортных перевозок понимается комплекс мер по ликвидации аварийных ситуаций, вызванных пожарами, помощь пострадавшим, обеспечение сохранности окружающей среды и др. Только за первое полугодие 2016 г. произошло 29 пожаров на подвижном составе РЖД,

прямой материальный ущерб от которых составил 10 147 тыс. рублей [1].

Представляя собой сложную систему, РЖД функционирует на большой территории страны. К объектам железнодорожного транспорта относятся: пути, устройства автоматики, связи, стрелочные переводы, искусственные сооружения, устройства энергоснабжения и др. Для участковой, сортировочной, грузовой и других станций, в зависимости от их назначения и характера работы, важными элементами являются сооружения и устройства локомотивного и вагонного хозяйств, сортировочные грузовые и другие устройства [2].

Анализируя статистику пожаров в поездах и на объектах железнодорожного транспорта, можно определить их основные причины:

- короткое замыкания в электроустановках;
- нарушение правил безопасности при ведении огневых работ;
- загорание изоляции паропроводов, пропитанных маслом;
- загорание грузов при перевозках ж/д транспортом;
- нарушение правил производства маневровых работ на станциях;
- диверсии, террористические акты, и другие.

Если говорить о процентном соотношении тех или иных причин пожаров, то, примерно, по 10% приходится на нарушения государственных стандартов и правил погрузки, вызывающие самовозгорание, трение упаковочной проволоки и т.п., на попадание источника зажигания внутрь вагонов и контейнеров или на открытый подвижной состав. Далее, по степени убывания, идут неисправность электрооборудования, недосмотр за приборами отопления и их неисправность, аварии и крушения, искры электросварки и прочие причины. Наибольшее количество пожаров возникает на подвижном составе, примерно 80% от общего числа пожаров на железнодорожном транспорте, что вызывает необходимость разработки более эффективных мер по предупреждению пожаров на подвижном составе железных дорог.

Пожары, возникающие на подвижном составе электрифицированных участков железных дорог, представляют особую опасность, так как провода и арматура контактной сети находятся под напряжением 27,5 кВ переменного тока и 3,3 кВ постоянного тока. Соприкосновение с этими проводами и арматурой непосредственно или через какие-либо предметы может привести к несчастным случаям. Это обстоятельство требует от всех участников, связанных с ликвидацией пожаров, строжайшего соблюдения установленных

правил личной безопасности. Так, ликвидация пожара с помощью пожарного поезда, пожарных автомобилей на электрифицированных участках железных дорог должна производиться только после получения руководителем тушения пожара письменного разрешения от представителя дистанции электроснабжения о снятии напряжения с проводов контактной сети или воздушной линии электроснабжения на расстоянии не менее 7 метров от горящих предметов. Чаще всего, прибытие представителя дистанции электроснабжения и получение письменного разрешения на начало работ по локализации и ликвидации горения требует времени, за которое происходит значительное развитие пожара с опасными последствиями, неоправданно затягивается время проведения аварийно-спасательных и иных неотложных и восстановительных работ [3].

В настоящее время для тушения пожаров на объектах железнодорожного транспорта традиционно используют: огнетушители, пожарное оборудование, автонасосы, автоцистерны, мотопомпы, пожарные поезда и др. Указанные силы и средства в качестве основного огнетушащего средства используют воду или специальные пенообразующие растворы на основе воды. Несмотря на очевидные преимущества и, в ряде случаев, высокую эффективность воды, как огнетушащего средства, область ее применения весьма ограничена. Вода обладает значительной электропроводимостью и поэтому не может быть использована для тушения горящего электрооборудования, находящегося под напряжением. Нельзя применять воду, если в зоне пожара находятся вещества, бурно с ней реагирующие. В некоторых случаях применение воды приводит не к прекращению, а к усилению горения, поскольку горючие жидкости всплывают и продолжают гореть на поверхности воды, причем площадь горения значительно увеличивается. Нельзя не считаться также с тем, что вода может необратимо повреждать оборудование, приборы, рабочую документацию, материальные и культурные ценности. Неоправданное ее применение для тушения небольших загораний иногда может нанести значительно больший ущерб, чем непосредственное действие огня.

При транспортировке опасных железнодорожных грузов также необходимо учитывать потенциальную и реальную опасность веществ и материалов. Потенциальная опасность – это возможность возникновения между веществами и материалами реакций превращения и взаимодействия, обусловленных составом, строением и агрегатным состоянием веществ и

материалов. Эти реакции под воздействием изменяющихся внешних условий могут сопровождаться пожаром, взрывом и другими негативными последствиями. Реальная опасность – это есть проявление веществами и материалами под действием внешних условий свойств, приводящих к пожарам, взрывам, загрязнению и заражению окружающей среды, нанесению экономического ущерба обществу в целом [4].

Опасные грузы российское законодательство подразделяет на 9 категорий, каждая из которой имеет несколько подкатегорий: ядовитые вещества; вещества, вызывающие различные инфекции; окислители и пероксиды органического происхождения; едкие вещества и химические активные; сжиженные газы и газы под давлением; вещества, способные реагировать с водой, если в результате реакции получаются самовоспламеняющиеся газы; жидкости, способные легко воспламеняться.

Данные обстоятельства ставят перед наукой и практикой задачу по разработке и внедрению современных эффективных средств пожаротушения. Например, в мировой практике в последние несколько лет при тушении пожаров стали применять новое вещество «Novec 1230», разработанное в 2011 г. В мире оно известно как «сухая вода», обладающая уникальными техническими и эксплуатационными характеристиками. Был разработан как газовый агент для тушения пожаров в помещениях, в своем рабочем виде он находится в составе системы, которая включает в себя баллоны, трубную разводку и насадки. Отсутствие атома водорода в структуре молекулы фторированного кетона наделило это вещество особыми свойствами, которые с успехом используются для ликвидации очагов возгорания:

- нулевая электропроводимость;
- точка кипения +49°C;
- вещество является абсолютно безопасным для здоровья человека и экологически безвредным.

Наибольшее распространение в западных странах «сухая вода» получила в системах автоматического пожаротушения, устанавливаемых в помещениях с хрупкими художественными ценностями, на дорогостоящем уникальном транспорте, насыщенном электронным оборудованием. Доказательством того, что тушение пожара «сухой водой» эффективно и безопасно, является снятие всех ограничений на её использование в США в автоматических установках тушения электропоездов метро, кораблей, самолетов и военной бронетехники. Кроме того, в последнее время наиболее распространенными веществами

подобного типа являются 3М™ Noves™ 1230 и Флуорокетон С-6. Оба вещества имеют практически идентичные эксплуатационные показатели и относятся к типу хладонов. Огнетушащие вещества сертифицированы для применения в процессе тушения пожаров категории А и В: класс А – пожары твердых веществ в результате горения которых образуется тлеющая зона. Пожары этого класса тушат всеми видами огнетушащих веществ. Класс В – пожары горючих жидкостей или плавящихся твердых веществ, их тушат пенами всех видов, порошками и тонкораспыленной водой. Проводятся также исследования на подтверждение применения сухой воды к тушению горючих газов – класс С.

Механизм тушения «сухой водой» происходит по принципу снижения температуры и ингибирования химической реакции процесса горения. Отметим ещё некоторые преимущества «сухой воды»:

Во-первых, высокая эффективность данного средства – источник возгорания нейтрализуется благодаря высокому уровню испаряемости за относительно короткое время – 10-15 сек;

Во-вторых, безопасность для человека – подтвержденная клиническими испытаниями, данное вещество можно использовать даже тогда, когда во время пожара в помещениях и отсеках могут находиться люди;

В-третьих, удобство эксплуатации – «сухая вода» может использоваться в качестве огнетушащего вещества в уже смонтированных установках пожаротушения с минимальной модернизацией оборудования. Кроме того, повреждение систем установок пожаротушения с «сухой водой» и даже ее разлив не вызовет негативных последствий. «Вода» просто испарится, не оставив и следа;

В-четвертых, экологическая безопасность – после применения, распад вещества происходит за 3-5 дней, без повреждения озонового слоя.

Железная дорога – сложный и многофункциональный механизм. Возникновение в нём любой нештатной ситуации, связанной с пожаром, ведёт к сбою в работе всего «транспортного организма». Для того чтобы подобные сбои минимизировать, а ликвидация пожара была произведена в максимально сжатые сроки, возможно внедрение систем пожаротушения с использованием «сухой воды». Пожаротушение с её использованием может проводиться на объектах инфраструктуры и транспортных средствах РЖД, когда применение традиционных средств тушения невозможно из-за нахождения в них производственного персонала и пассажиров, особенно при отсутствии

возможности покинуть помещение, вагон поезда, дежурно-диспетчерский центр, и т.д. Не будет угрозой оборудование, находящееся под напряжением, не будет нанесён вред дорогостоящей электронике и др. Нетоксичный агент NovacTM 1230 избавляет от необходимости использования средств защиты органов дыхания человека. «Сухой воде» можно доверять самые ценные активы - жизни и здоровье персонала и пассажиров, которым могут угрожать поражающие факторы такого опасного явления, как пожар.

Список литературы

1. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Гражданская оборона: Учебное пособие для студентов вузов ж.-д. трансп. Под ред. М. А. Шевандина. – М.:Маршрут, 2004. – 226 с.
2. СП 2. 13130. 2012. «Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты».
3. Акимов, В. А. Риски транспортировки опасных грузов: Монография / В. А. Акимов, Ю. И. Соколов / ФГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ). – М., 2011. – С. 7-9, 53-55.

УДК 621.577

О. В. Хороших, А. П. Стариков, А. Н. Громов

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ В ЗАПАДНО – СИБИРСКОМ РЕГИОНЕ

В статье рассмотрена актуальность использования нетрадиционных источников энергии, а именно необходимость использования тепловых насосов грунтовых, как альтернативную возможность повышения энергосбережения и энергоэффективности в регионе. На практическом примере определена эффективность установки на базе теплового насоса грунтового, рассчитано изменение коэффициента преобразования теплового насоса на протяжении отопительного периода.

Современные технологии энергосбережения предоставляют нам ценную возможность экономить значительное количество ресурсов. Данная экономия приводит к снижению стоимости коммунальных услуг, а также, к уменьшению себестоимости ряда товаров и услуг народного потребления, к экологической

безопасности. Внедрение энергосберегающих технологий представляет стратегическое значение в развитии Омского региона и России в целом.

Перманентный рост тарифов на энергоресурсы является ведущим фактор роста социальной напряженности. В связи с этим системное внедрение энергосберегающих технологий на региональном уровне должно быть одной из ведущих задач государственной политики в области инновационных инжиниринговых разработок. В настоящее время на внутреннем российском рынке присутствие энергосберегающих технологий представлены весьма фрагментарно, а некоторые спектры отсутствуют.

Наша страна, добывая углеводороды и газ, имеет с одной стороны выход на сравнительно дешевые энергоносители, с другой стороны их доступность является главным сдерживающим фактором развития энергоэффективности в России. Сложившаяся ситуация в отношении потребителя становится с каждым годом все критичнее. Нехватка производимых мощностей теплогенерирующих компаний, отсутствие должной модернизации инженерных сетей, нехватка финансирования на совершенствование теплоэнергетического комплекса ведет к удорожанию предоставляемых тепло- и энергоресурсов, а также к снижению качества предоставляемого энергопродукта.

Применение энергосберегающих технологий, снижение теплопотерь и энергопотребления в последние годы приобрело актуальность больше у частного потребителя, нежели у государства, переложившего задачу энергосбережения на конечного потребителя искусственным ростом цен на энергоресурсы. При этом отметим отсутствие дотации на введение в эксплуатацию нетрадиционных энергосберегающих технологий и нежелание способствовать потребителю в энергонезависимости в виде автономных систем электро- и теплообеспечения объектов.

В сложившейся энергетической ситуации, учитывая географию нашей страны, ее протяженность и наличие самых разных климатических условий, актуальным становится вопрос о независимом производстве более дешевой энергии, а также о целесообразном использовании сбросного тепла крупных промышленных предприятий. В связи с чем разработка региональных моделей для изменения схемных решений теплоэнергетического комплекса Омского региона с применением возобновляемых источников энергии должно послужить методологической основой для реализации эффективной энергетической политики региона.

В данной статье рассмотрен практический опыт применения тепловых насосов для обособленного потребителя, которому целесообразно по техническим и экономическим показателям организовать круглогодичное теплообеспечение на базе теплового насоса.

На территории Омска и Омской области к 2017 году установлены и успешно эксплуатируются уже 12 источников тепла на базе тепловых насосов, преимущественно грунтовых, мощностью от 9 до 60 кВт.

Рассмотрим эффективность использования данных систем в Сибирском климате на примере теплового насоса введенного в эксплуатацию осенью 2016 г.

Основным показателем оценки эффективности работы теплового насоса является коэффициент трансформации – COP. Очевидно, что чем выше значение COP, тем меньше электроэнергии требуется тепловому насосу для выработки тепла. Эффективность работы во многом зависит от условий работы хладагента и изменения температуры от источника отбора тепла и температуры в отопительном контуре, а именно от разности температур кипения хладагента в испарителе и конденсации в конденсаторе. Чем меньше эта разность, тем выше коэффициент преобразования. Здесь необходимо отметить, что за время отопительного сезона происходит понижение температуры грунта. Опыт продолжительной эксплуатации грунтовых тепловых насосов в относительно теплой европейской части показал, что снижение температуры внешнего источника незначительно и за летний период восстанавливается прежний температурный режим. Но продолжительность отопительного сезона и тепловая нагрузка в Сибири значительно больше и максимальное снижение температуры грунта рассматриваемого источника составило 8 °С, что привело к снижению COP. Рассмотрим изменение коэффициента преобразования теплового насоса грунтового за отопительный период и оценим критичность понижения температуры внешнего контура системы.

Местонахождение объекта – микрорайон Входной города Омска. Общая площадь одноэтажного объекта составляет 240 м², тепловая нагрузка 20 кВт, требуемый температурный режим в отопительный сезон не ниже +18 °С. В летний период необходимо проводить кондиционирование помещения. Объект представлен на рис. 1.

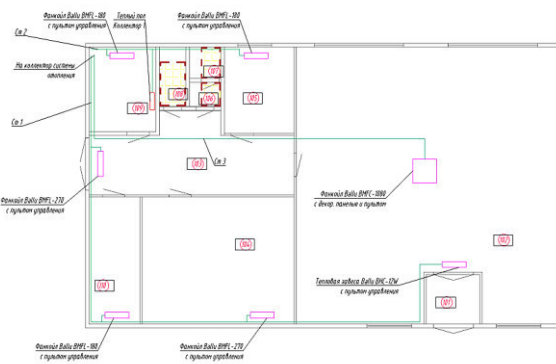


Рис. 1. Объект, отапливаемый с помощью теплового насоса грунтового

В качестве источника тепла был выбран тепловой насос грунтовой многофункциональный (отопление, кондиционирование, отдельный контур для горячего водоснабжения) с максимально производимой тепловой мощностью 27 кВт и пиковой потребляемой электрической мощностью 6,2 кВт. Хладагент - R22. В качестве источника низкопотенциального тепла для внешнего контура системы был определен грунт. В зоне фундамента на нулевом этапе строительства объекта путем бурения была выполнена вертикальная укладка геотермального зонда из расчетных показателей 6 скважин по 90 м глубиной, расстояние между скважинами 6 м. В расчетах закладывался сбор низкопотенциального тепла усреднено 45 Вт с одного погонного метра. Теплоноситель используемый в геотермальном контуре (внешний контур) и в контуре отопления – пропиленгликоль. Котельная и геотермальный контур представлены на рис. 2, 3.



Рис. 2. Геотермальный зонд, коллектор внешнего контура

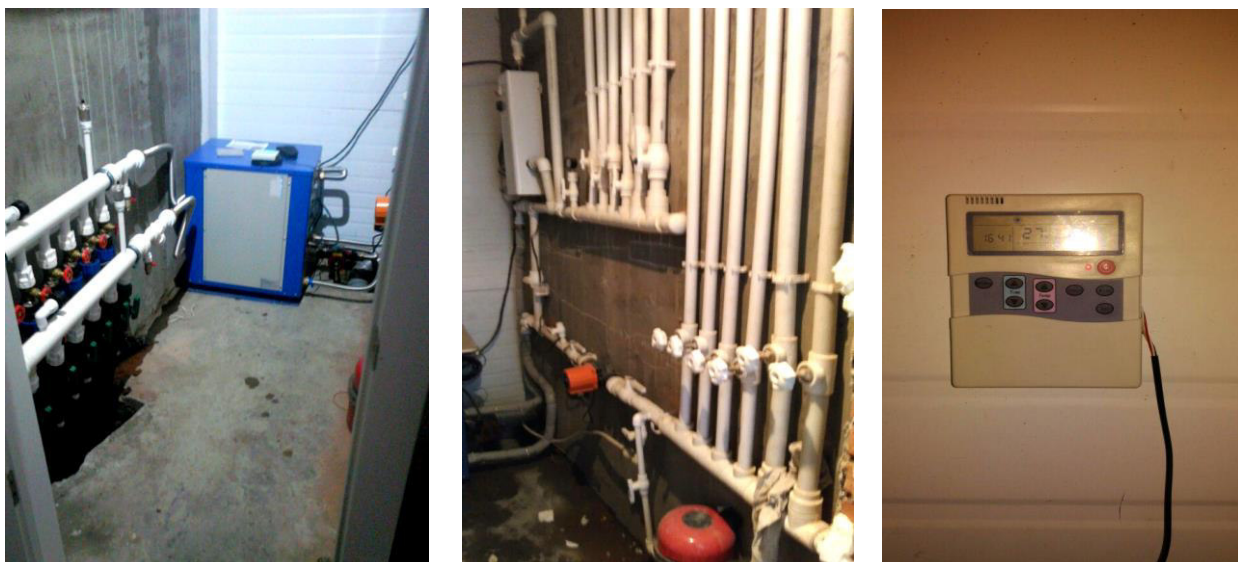


Рис. 3. Котельная на базе теплового насоса

Подача тепла в помещения осуществляется контуром отопления, посредством шести фанкойлов и двух тепловых завес с индивидуальными пультами управления. Также, в летний период за счет фанкойлов будет производится кондиционирование помещения. На рис. 4. представлен контур отопления.



Рис. 4. Контур отопления, фанкойлы и тепловые завесы

Для исследуемой установки рассчитаем эффективность работы теплового насоса за первый отопительный период. При эксплуатации получены данные по температуре от низкопотенциального источника поступающего к теплому насосу из геотермального коллектора и подающегося на отопительный контур от теплового насоса. Для анализа выберем три контрольные точки: октябрь 2016 года – запуск системы, середину отопительного периода – конец декабря 2016 года и текущий момент – март 2017 года. Основные данные для расчета приведены в табл. 1.

Эксплуатационные данные для расчета

Параметр	1 октября 2016	31 декабря 2016	10 марта 2017
Температура теплоносителя в отопительном контуре, °C	+ 36	+ 36	+ 32
Температура на испарителе, °C	+ 6	+ 3	– 2
Температура на конденсаторе, °C	+ 40	+ 40	+ 36
Разница температур на испарителе и конденсаторе, Δ	32	37	38
Давление хладагента начальное, бар	5,1	4,5	3,7
Давление хладагента конечное, бар	14,3	14,3	11,9

Наиболее распространенной формулой расчета коэффициента COP является отношение теплопроизводительности и потребляемой мощности [1].

Рассчитаем заявленный COP для данного теплового насоса:

$$\text{COP} = \frac{27 \text{ кВт}}{6,2 \text{ кВт}} = 4,36. \quad (1)$$

Расчет теоретического коэффициента преобразования при температурах в контрольные отрезки отопительного периода определим с помощью построения термодинамических диаграмм h–lgP (энтальпия-давление) хладагентов. Графическое изображение термодинамического цикла теплового насоса в p–h диаграмме представлено на рис. 5.

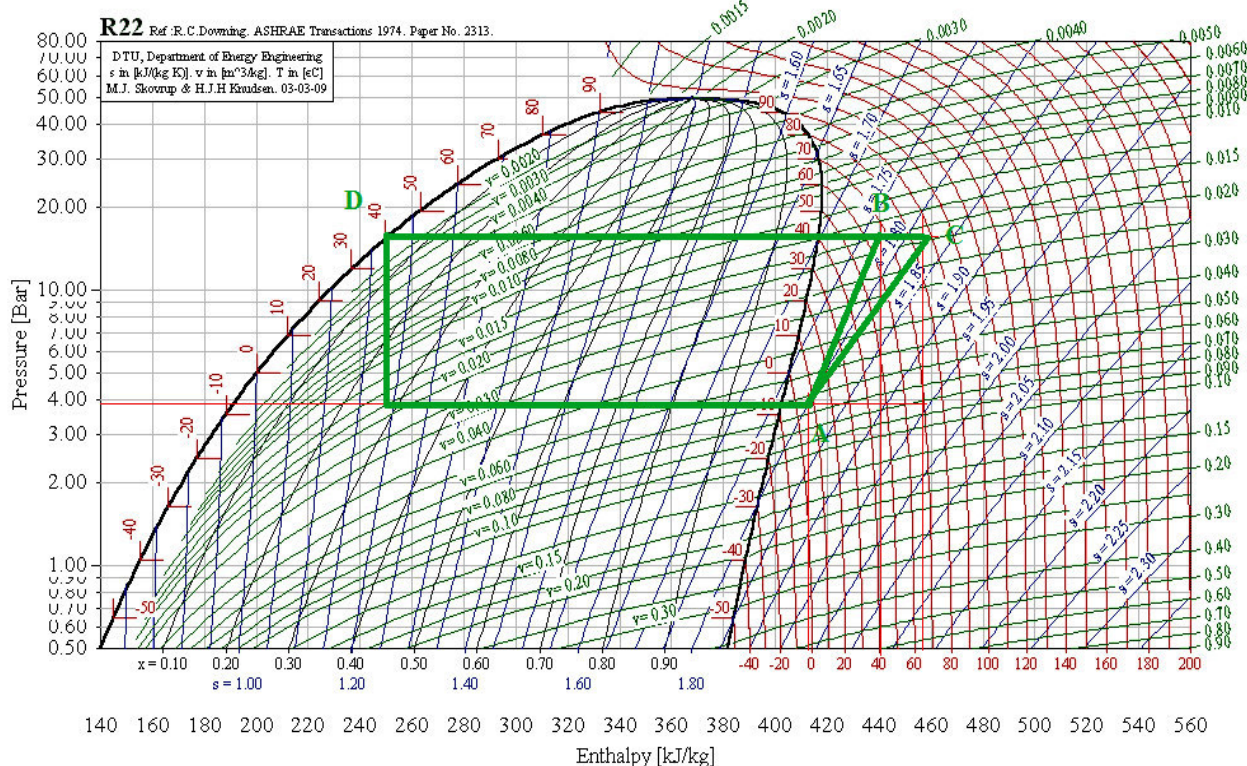


Рис. 5. Термодинамический цикл теплового насоса в p–h диаграмме

Действительные условия на выходе из компрессора в точке С рассчитываются с помощью изоэнтропического КПД [1]:

$$\eta = (h_B - h_A) / (h_C - h_A) \quad (2)$$

где, h_A , h_B , h_C – соответствуют энтальпии в точках А, В и С.

Изменение энтальпии в конденсаторе и соответствующую точку D находим по пересечению изобары конденсации с левой пограничной кривой, пренебрегая при этом падением давления при теплообмене.

Рассчитываем COP реального цикла теплового насоса по формуле:

$$\text{COP} = (h_C - h_D) / (h_C - h_A) \quad (3)$$

Сводим все расчеты, полученные в ходе эксперимента в табл. 2.

Таблица 2

Значения энтальпии и COP при разных температурах на испарителе

Температура на испарителе, °С	h_A , кДж/кг	h_B , кДж/кг	h_C , кДж/кг	h_D , кДж/кг	COP
+ 6	412,74	440,72	450,97	252,02	5,2
+ 3	407,52	440,72	454,31	252,02	4,32
– 2	401,30	438,97	458,67	242,31	3,60

Из представленных данных видно, что коэффициент трансформации исследуемого теплового насоса за отопительный период при существенном изменении температуры низкопотенциального источника тепла в среднем соответствует проектным показателям и остается в эффективной зоне. Согласно расчетным данным установка теплообеспечения объекта является технически и экономически оправданной. При потреблении 1 кВт*ч электрической энергии система производит в среднем 4,37 кВт*ч тепловой энергии. В связи с тем, что в летний период будет осуществляться сброс низкопотенциального тепла через геотермальные скважины в грунт при кондиционировании помещений, то произойдет повышение COP теплового насоса на следующий отопительный период, поскольку температура грунта, а именно уровень низкопотенциального тепла будет выше.

При проектировании аналогичных систем теплообеспечения объектов на базе тепловых насосов грунтовых следует учитывать важный фактор зависимости коэффициента преобразования теплового насоса от разности температур кипения хладагента, выделяя прямую зависимость от разницы температур между отбираемой из низкопотенциального источника тепла и

передаваемой в отопительный контур. Иными словами, эффективность теплового насоса зависит преимущественно от того насколько ему необходимо будет повысить получаемую температуру для передачи в отопительный контур. Поэтому важным правилом для получения действительно эффективных систем необходимо использовать низкопотенциальные контуры отопления, такие как водяной теплый пол, низкопотенциальные радиаторы и фанкойлы.

Список литературы

1. Оценка энергоэффективности работы воздушного теплового насоса на фреоне / В. Н. Федосеев, О. Р. Андреева и др. // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – № 11 (53) Часть 4. – С. 130 – 135.

2. Повышение эффективности объектов теплоэнергетики и систем теплоснабжения / В. М. Лебедев, В. Р. Ведрученко и др. // Межвуз. темат. сб. науч. тр. / Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск, 2012. 79 с.

УДК 629.1

К. В. Писарев

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ ДЛЯ ВЫРАБОТКИ ТЕПЛОВОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

В статье представлен анализ существующей системы утилизации твердых коммунальных отходов на опыте различных стран, более подробно рассмотрены методы утилизации путем сжигания и использования полученной энергии на выработку тепла и электроэнергии.

В настоящее время, в связи с постоянным ростом численности населения, неуклонно растет потребление ресурсов и, соответственно, количество отходов. Нелегальные мусорные свалки, загрязнение водоемов и атмосферы, а так же пагубное влияние на живую природу, является следствием жизнедеятельности человека.

Вопрос переработки твердых коммунальных отходов (ТКО) стоит на повестке дня уже не одно десятилетие и, естественно, были найдены пути решения проблемы свалок. По всему земному шару ученые придумывают и внедряют способы утилизации отходов.

На данный момент известно несколько методик переработки:

- 1) сжигание;
- 2) захоронение;
- 3) компостирование;
- 4) переработка.

Самым актуальным, полезным и распространенным для внедрения на данный момент остается метод термической переработки ТКО. Помимо высокого уровня автоматизации, известности технологии и опыта, энергию от данного вида переработки отходов можно преобразовывать в тепловую и (или) в электрическую.

Большой процент ТБО используется в качестве топлива во многих странах: Швейцарией (80 %), Данией (80%), Японией (85%), Францией (65%), Германией (60%). Это и не удивительно из-за калорийности топлива при низшей теплоте сгорания от 5,2 до 16,5 МДж\кг. При процессе сжигания вырабатывается и используется полезная тепловая и электрическая мощность. В России же ежегодно используется в качестве топлива менее 1% ТБО.

Метод сжигания (или в общем виде термические методы обезвреживания ТБО) имеет как несомненные достоинства (можно использовать теплоту сгорания ТБО для получения электроэнергии и отопления зданий, надёжное обезвреживание отходов), так и существенные недостатки. Необходима хорошая система очистки топочных газов, так как при сжигании ТБО в атмосферу выделяются хлористый и фтористый водород, сернистый газ, оксиды азота, а также металлы и их соединения (Zn, Cd, Pb, Hg и т. д. в основном в виде аэрозолей) и, что особенно важно, в процессе горения отходов образуются диоксины, дифенилы, присутствие которых в отходящих газах значительно осложняет их очистку из-за малой концентрации этих высокотоксичных соединений.

При сжигании ТБО получают 28 – 44 % золы от сухой массы и газообразные продукты в виде двуокси углерода, паров воды, различных примесей. Запыленность отходящих газов составляет 5–10 г/нм³ (25–50 кг/т ТБО).

Теплота сгорания способность бытовых отходов примерно соответствует бурому углю. В среднем теплота сгорания бытовых отходов колеблется от 1000 до 3000 ккал/кг. Выявлено также, что по теплоте сгорания 10,5 т твердых бытовых отходов эквивалентны 1 т нефти; по калорийности бытовые отходы уступают каменному углю всего в 2 раза; примерно 5 т мусора выделяет при сгорании столько же тепла, сколько 2 т угля или 1 т жидкого топлива. [1]

Не многие знают, что в Омске есть ООО «Университет экологических проблем», который занимается утилизацией ТКО. Организация использует инсинератор «Вулкан - 2000». Установка используется для высокотемпературного термического уничтожения биологических, промышленных, бытовых и медицинских отходов, продуктов переработки нефти и нефтешламов. Производительность – 6 т в сутки. Тепло, полученное от использования установки, идет на обогрев соседних зданий.

Компания сотрудничает с коммерческими предприятиями и помогает с утилизацией не перерабатываемых отходов.

Все же, наиболее приемлемым можно считать метод пиролиза.

Пиролиз может происходить при разных температурах и, соответственно, подразделяется на низкотемпературный и высокотемпературный.

Под низкотемпературным пиролизом понимается процесс, при котором размельченный мусор подвергается термическому разложению. Данный процесс происходит при температурах от 400 до 850 градусов. Преимущество низкотемпературного пиролиза по сравнению с традиционным для нас сжиганием отходов заключается, в первую очередь, в его эффективности в плане предотвращения загрязнения окружающей среды.

При помощи пиролиза можно перерабатывать самые разнообразные составляющие отходов, неподдающиеся утилизации, например такие, как автопокрышки, отработанные масла, пластмассы и отстойные вещества. После низкотемпературного пиролиза в мусоре не остается никаких биологически активных веществ, поэтому складировать пиролизные отходы можно без риска нанесения вреда природной среде. Образующийся при данном процессе пепел имеет высокую плотность, что существенно уменьшает объем мусора, подвергающийся дальнейшему складированию. Однако стоит отметить, что низкотемпературный пиролиз, хотя он и является более чистой технологией, нежели сжигание, не способен обеспечить полный распад диоксинов.

Также при таком пиролизе не происходит и выплавки тяжелых металлов. Все эти вещества выпадают в твердый остаток, который, равно как и шлак с обыкновенных мусоросжигательных заводов, все равно приходится вывозить в специальные отвалы. Однако, отходов в данном случае образуется гораздо меньше. Таким образом, к преимуществам низкотемпературного пиролиза ТБО можно отнести:

- легкость хранения и транспортировки отходов пиролиза;
- существенное уменьшение объемов отходов;

– получение энергии, которую можно использовать для отопления и получения электроэнергии.

Установки или заводы, осуществляющие переработку твердых бытовых отходов способом низкотемпературного пиролиза, функционируют во множестве стран мира, начиная с середины 70 годов прошлого века. Именно в ту пору получение из резиновых, пластмассовых, и прочих иных отходов энергии и тепла путем низкотемпературного пиролиза стало рассматриваться как довольно перспективный источник выработки энергетических ресурсов.

Наиболее большое значение придают данному процессу в Японии. Однако, необходимо учитывать тот факт, что в странах, где существуют технологии раздельного сбора мусора методом низкотемпературного пиролиза сжигаются не все отходы, а только лишь определенная часть. Благодаря этому эффективность данного метода утилизации ТБО там гораздо ниже, чем в России, поскольку у нас на мусороперерабатывающие заводы обычно поступает смешанный мусор, который содержит множество вредных веществ.

Способ утилизации ТБО посредством высокотемпературного пиролиза представляет собой газификацию мусора. Технология и процесс пиролиза этого типа предполагает получение из органической составляющей отходов вторичного синтез-газа, который можно использовать для получения пара, электроэнергии и горячей воды. Высокотемпературный пиролиз происходит при температуре выше 850 градусов.

Технологическая цепь данного способа утилизации состоит из следующих последовательных этапов:

- 1) отбор из поступившего на перерабатывающий завод мусора крупногабаритных предметов путем процедуры индукционного сепарирования;
- 2) переработка подготовленных к переработке отходов в газификаторе с целью получения синтез-газа; при данном процессе также образуются и побочные химические соединения, содержащие хлор, азот и фтор;
- 3) очистка полученного из мусора синтез-газа с целью увеличения его экологических свойств и повышения энергоемкости;
- 4) охлаждение синтез-газа и его поступление в скруббер для очистки от соединений серы, хлора, фтора и цианидов щелочным раствором;
- 5) сжигание очищенного от примесей синтез-газа в специальных котлах-утилизаторах для получения горячей воды, пара или электроэнергии.

Поскольку поступающий на мусороперерабатывающий завод мусор предварительно не сортируется, побочным продуктом высокотемпературного пиролиза являются твердые не пиролизуемые остатки. Эти остатки

абсолютно безопасны, и могут использоваться для получения различных строительных материалов.

Именно поэтому высокотемпературный пиролиз сегодня является одним из наиболее перспективных направлений переработки ТБО как с точки зрения экологической безопасности, так и со стороны получения вторичных полезных продуктов. Высокотемпературная газификация дает уникальную возможность экономически выгодно и экологически чисто перерабатывать любые твердые бытовые отходы без необходимости их предварительной подготовки (сортировки, сушки) [2].

Несмотря на эффективность данного метода, несмотря на постоянно развивающиеся технологии, стоит все же бороться с причиной, а не следствием.

Строительство в городе мусороперерабатывающего завода – хороший шаг к более безопасной утилизации. Возможно, если культуре сегрегации отходов будут учить в учебных заведениях, учить на собственном примере, вопросы экологии уже не будут звучать так часто и остро.

Список литературы

1. Писарев, К. В. «Логистический подход к организации работы распределительного центра сбора ТБО на примере г. Омска», итоговая аттестационная работа, 2016. 48 с.

2. Официальный портал компании «Переработка Мусора» / Температура пиролиза: низкотемпературный и высокотемпературный [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ztbo.ru/o-tbo/stati/piroliz/temperatura-piroliza-nizkotemperaturnij-i-visokotemperaturnij>

УДК 620.92

Т. М. Жарикова, Е. О. Антонова

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ВЭУ ОТ ФУНКЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ ВЕТРА И ТЕХНИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕТРОУСТАНОВКИ

В данной работе рассматривается описание метеорологических параметров, определение функции распределения скорости ветра в г. Тюмени.

Территория Тюменской области расположена в пределах Западно-Сибирской низменности, которая является одной из самых обширных равнин земного шара. Климат в Тюменской области умеренно-континентальный. Черты резкой континентальности выражены в центральной и южной частях территории. Характерной чертой для рассматриваемого района является преобладание циклонического типа погоды в течение года, особенно в переходные сезоны и в начале зимы. Распределение ветра на территории в течение года складывается в зависимости от этих основных циркуляционных факторов. В зимнее время на всем пространстве к югу от полярного круга преобладают южно-западные и южные ветры, а летом – северные и северо-западные ветры [3].

В России существует сеть метеорологических станций, фиксирующих скорость ветра, которая является случайной переменной в пространстве и времени, зависящей от многих факторов местности, сезона года и погодных условий, и направление ветра во времени [1].

Для систематизирования параметров ветровой метеобстановки в конкретном регионе с целью ее эффективного энергетического использования, разрабатывается ветроэнергетический кадастр, представляющий собой совокупность аэрологических и энергетических характеристик ветра, позволяющих определить его энергетическую ценность, а также целесообразные параметры и режимы работы ветроэнергетических установок. Основными климатическими характеристиками являются данные о повторяемости штилей и направлений ветра по стандартным восьми 45-градусным направлениям, или румбам, данные о повторяемости направлений ветра и штилей в различные часы суток, данные о средних многолетних среднемесячных и среднегодовых скоростях ветра, данные о среднемесячных и среднегодовых скоростях ветра в различные часы суток, данные о вероятности скоростей ветра по градациям в различные часы суток, данные о вероятности скоростей ветра по направлениям. Точное среднее значение скорости ветра может быть получено только за 10-летний или более продолжительный период [2].

На рис. 1 изображен ветровой кадастр России, представляющий графическое изображение среднегодовой скорости ветра на территории нашей страны.

Приведем метеорологические данные по Тюменской области.

В Тюменской области, соответственно, преобладают ветра со скоростью от 3 до 5 м/с. Средняя месячная скорость ветра при высоте флюгера 11 м за январь составляет 3,5 м/с, за июль – 2,7 м/с, и годовая скорость ветра – 3,4 м/с. Разница между средними месячными и годовыми скоростями ветра, рассматриваемой территории, объясняется различными ландшафтными условиями в расположении метеорологической станции, также зависит от высоты и защищенности флюгера. Современные ветродвигатели могут достаточно эффективно работать при скоростях 3 – 5 м/с, которые называются рабочими. Повторяемость ветров выражается числом случаев и в процентах, рассматривается по градациям их скорости и отдельно по каждому сезону. По данным повторяемости направления ветра, в январе доминируют юго-западные ветры (33 %), а в июле – северо-западные (24 %). Вероятность скорости ветра в январе составляет 29,4 %, в июле – 38,4 % [3].

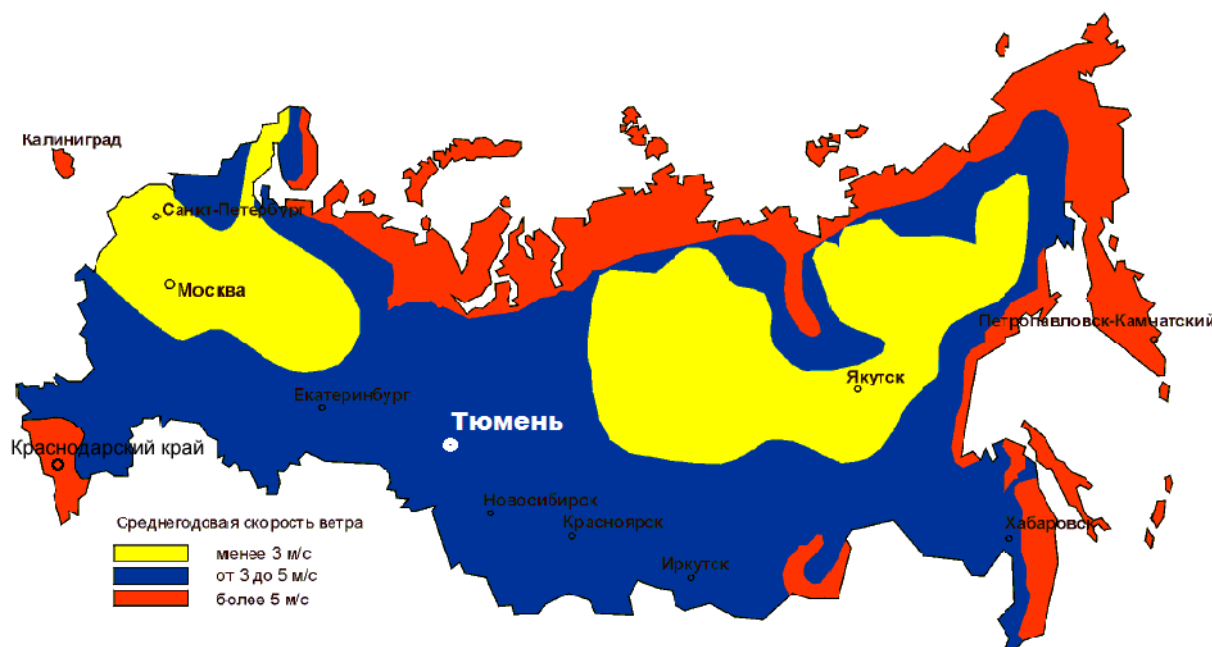


Рис. 1. Ветровой кадастр по территории России

Вырабатываемая электрическая энергия с помощью ВЭУ зависит от ветроэнергетического потенциала и от технической характеристики самой установки. Такие характеристики могут быть представлены с помощью математического аппарата. В табл. 1 показаны скорости ветра и вероятности распределения ветра, а также дифференциальная вероятность появления скорости для г. Тюмени, для января месяца. Аналогичная работа проводится для остальных месяцев года.

Таблица 1

Характеристики ветроэнергетических ресурсов г. Тюмени

Скорость ветра u , м/с	Вероятность распределения ветра $f(u)$, %	Дифференциальная вероятность появления скорости t_i
0-1	25,8	2260,08
2-3	29,4	2569,56
4-5	22,3	1949,02
6-7	12,4	1083,76
8-9	4,4	384,56
10-11	2,5	218,5
12-13	2	174,8

Для расчета ожидаемой выработки электрической энергии на годовом интервале времени, найдем функцию распределения скорости ветра.

$$t_i = \frac{f(u) \times 8760}{100}; \quad (1)$$

$$c \times \Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right) = u_i \times t_i; \quad (2)$$

$$c^2 \times \Gamma\left(1 + \frac{2}{k}\right) = u_i \times t_i. \quad (3)$$

Выразим коэффициенты функции распределения c и k : $c = 6,514$ м/с; $k = 2,102$.

Зависимость скорости ветра в течение определенного периода времени может быть описана функцией распределения вероятностей (Вейбулла).

Функция распределения скорости ветра г. Тюмень:

$$f(u) = \left(\frac{k}{c}\right) \times \left(\frac{u}{c}\right)^{k-1} \times e^{-\left(\frac{u}{c}\right)^k}; \quad (4)$$

$$f(u) = 0,323 \times \left(\frac{u}{c}\right)^{1,102} \times e^{-\left(\frac{u}{6,514}\right)^{2,102}}.$$

Определяя функцию распределения по месяцам года и аналитическую функцию зависимость мощности ВЭУ от скорости ветра в районе г. Тюмени, можно рассчитать ожидаемую выработку электрической энергии в течение года.

Полученная функция распределения представлена на рис. 1.

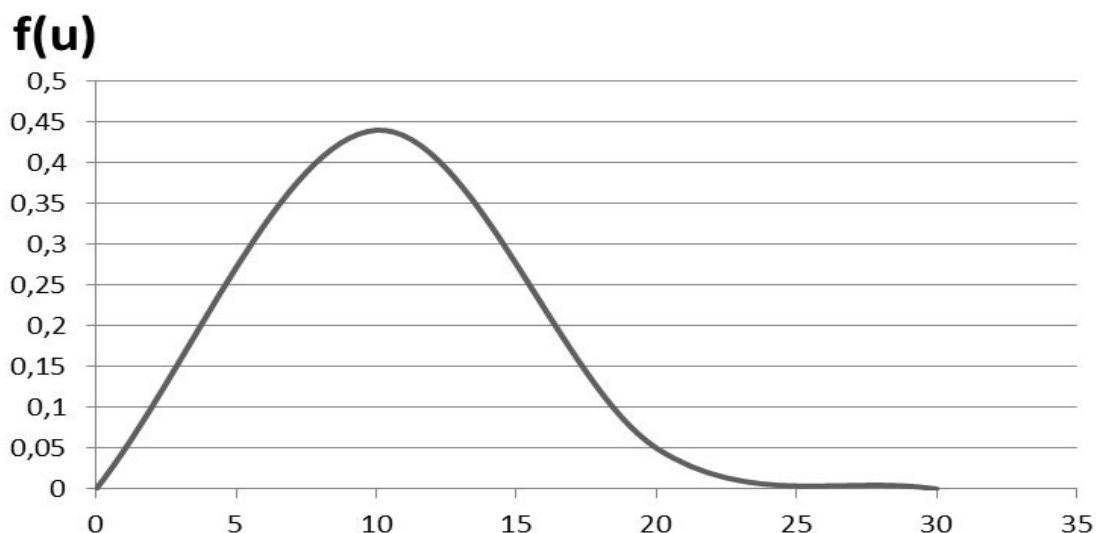


Рис. 1. Функция распределения скорости ветра

Данная функция близка по характеру распределения величины и функции распределения Релея. Это характерно для основной территории России.

Зная функцию распределения и аналитическую зависимость мощности ВЭУ от скорости ветра, можно рассчитать ожидаемую выработку электрической энергии в течение года.

$$E = \left(P_{\text{пот}} \times \int_{u_{\text{пот}}}^{u_{\text{max}}} f(u) \times du + \frac{A \times C_p \times \rho}{2} \times \int_{u_{\text{min}}}^{u_{\text{пот}}} f(u) \times u^3 \times du \right) \times T_{\text{год}}, \quad (5)$$

где A – площадь ометаемой поверхности ветроколеса, м^2 ; ρ – плотность воздуха ($1,225 \text{ кг/м}^3$), C_p – коэффициент мощности ВЭУ.

Таблица 2

Технические характеристика ветрогенератора мощностью 1 кВт

Номинальная мощность(Вт)	1000
Номинальное напряжение (Р, В)	48
Диапозон рабочих скоростей (u, м/с) min nom max	2 9 12
Частота вращения, (об./мин.)	400
Количество лопастей, шт.	3
Диаметр ветроколеса, м	2,7
Коэффициент мощности (C_p)	0,35

Путем подбора, для дальнейшего расчета, можно выбрать ветроэнергетическую установку SWG (FD2,7-500, FD3,0-1000), которая

предназначена для автономного электроснабжения потребителей, не имеющих доступа к сетям централизованного электроснабжения – загородных домов, фермерских хозяйств, застав, объектов телекоммуникаций и т. п.

Список литературы

1. Агеев, В.А. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: Курс лекций. Кафедра теплоэнергетических систем, 2004. – 174 с.
2. Воронин, С. М. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: Курс лекций / С. М. Воронин – Зерноград: ФГОУ ВПО АЧГАА, 2008. – 230 с.
3. Справочник по климату СССР, выпуск 17, часть 3, Омская и Тюменская области, Ветер, Гидрометеорологическое издательство Ленинград, 1967 г. – 299 с.

УДК 620.92

В. В. Крайнов, В. В. Попова, М. О. Бокова

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОТОПИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ЖИЛОГО ДОМА С ПОМОЩЬЮ СОЛНЕЧНОГО ОТОПЛЕНИЯ

Авторы предлагают вариант повышения энергоэффективности газового отопления при помощи солнечных коллекторов. Рассмотрены преимущества и недостатки комбинированной системы отопления жилого индивидуального дома для Омской области. Произведён расчётный анализ для жилого дома Омской области

Природный газ, сегодня является наиболее экономичным ресурсом для отопления частных домов. Это самый эффективный и доступный по цене вариант. Если в окрестностях дома проходит магистраль, топливо расходуется экономично, а газовое оборудование просто в эксплуатации, если подвод энергоносителя невозможен, то существуют альтернативные варианты (газгольдеры, газовые баллоны, и так далее). Автономность газового отопления позволяет жить в комфортных условиях даже вдали от города. Эффективность обогрева помещения с помощью газового оборудования неоспорима. Топливные котлы на природном или сжиженном газе имеют множество

преимуществ, среди которых основными являются следующие:

- доступная стоимость оборудования, монтажа и топлива;
- высокая надежность и долговечность отопительных систем, работающих на газе;
- небольшие габариты оборудования;
- двухконтурные котлы позволяют обеспечивать дом, как теплом, так и горячим водоснабжением;
- экологичность, так как газ при сгорании наносит наименьший урон окружающей среде.

Как у любого отопления у газового есть свои недостатки, такие как:

- возможные утечки газа, которые необходимо отслеживать (автоматические системы слежения за утечками газа);
- если площадь помещения менее 100 м кв., использование газового котла не целесообразно (экономически не выгодно, менее безопасно для окружающей среды);
- при монтаже газового котла обязателен дымоход, позволяющий отводить отработанные газы.

Природные ископаемые имеют свою цену и запасы, а самый неисчерпаемый и доступный из всех источников энергии которые природа дарит человеку – солнце. Возможности использования экологически чистой, повсеместно доступной возобновляемой солнечной энергии сегодня привлекают все большее внимание. Солнечные коллекторы поглощают энергию солнца и используют ее для отопления и горячего водоснабжения. Солнечная энергия оказывает положительное влияние на окружающую среду, а ее использование позволяет сэкономить, немалые средства (за год это составляет 60-70% расходуемых средств на плату за отопление и горячую воду).

Суть процесса сводится к поглощению тепловой энергии солнца и передачи его теплоносителю, который перемещен в отопительную систему дома и передает тепло воздуха в помещении. Наибольшую эффективность такая система имеет в период максимальной активности солнца, то есть с мая по август, когда солнечный день имеет наибольшую продолжительность и выпадает наименьшее количество осадков. В зимне-осенний период сложнее, поэтому использовать солнечное отопление в качестве основного пока не возможно. Однако, как альтернативный и дополнительный источник тепла и горячей воды имеет место быть рассмотренным.

Солнечное отопление имеет свои достоинства, главным из которых является – полная автономия от централизованных коммунальных сетей и снижение финансовых расходов, длительный эксплуатационный срок и редкие аварийные ситуации. Эффективность оборудования будет максимальной, если в регионе много ясных, солнечных дней.

Для климата Омской области характерна достаточно малая облачность и высокая суммарная продолжительность солнечного сияния. По продолжительности солнечного сияния за год южная часть Омской области почти не уступает районам Северного Кавказа и Украины. Для сравнения, сумма солнечного сияния за год в Омске составляет 2015 ч, в Москве – 1575 ч, в Краснодаре – 2100 ч. Особенно много солнечной радиации и света территория Омской области получает в летний период, но и в осенне-зимний период солнечные дни также преобладают.

Не смотря на то, что Омская область – солнечный регион, низкие температуры в зимний период в среднем достигают ниже минус 20 °С, короткий солнечный день и обилие снежных осадков осложняют и ограничивают работу солнечных батарей.

Малоэтажные застройки, коттеджи в Омске и Омской области, в основном, отапливаются при помощи газового отопления и имеют в качестве альтернативы обычную дровяную печь, что не очень эстетично и вредит экологии.

В Омской области атмосфера загрязнена, поэтому необходимо искать и применять новые источники тепла, более экологичные, а, в частности, такие, как солнечные коллекторы и батареи.

Многие домовладельцы идут в ногу со временем и комбинируют отопление традиционное с возобновляемым источником энергии. Вакуумные трубки для особенностей Омской области являются превосходным вариантом, так как показывает хорошие результаты и в облачные дни. Трубки способны поглощать энергию инфракрасных лучей, которые проходят через облака. Благодаря изоляционным свойствам вакуума воздействие ветра и низких температур на работу вакуумных труб незначительно.

Рассчитаем мощность такого коллектора:

$$Q = q \cdot S \cdot n \cdot \eta,$$

где q – значение солнечной инсоляции, характерное для каждого месяца,

S – площадь поглощения одной вакуумной трубки,

n – количество трубок в коллекторе,

η – КПД коллектора.

В среднем, современный солнечный коллектор способен поглощать до 80 % солнечной энергии. Площадь поглощения вакуумной трубки диаметром 58 и длиной 1800 мм составляет 0,08 м².

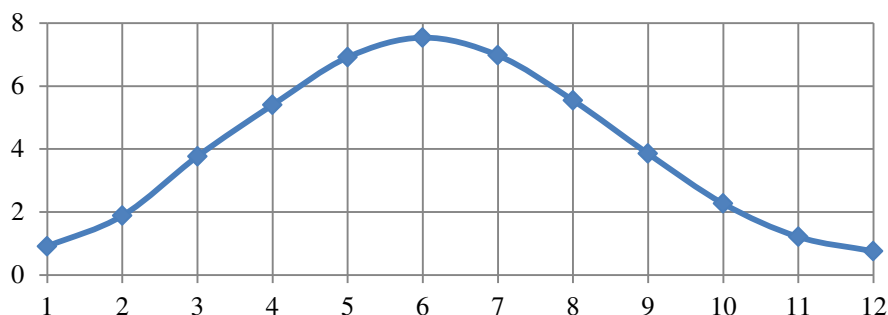


Рис. 1. Количество энергии, передаваемое вакуумным коллектором в зависимости от месяца

Исходя из рис. 1, можно увидеть, что в весенне-летний период, когда солнечные, ясные дни преобладают, количество энергии, вырабатываемое солнечными коллекторами, позволяет использовать для ГВС и отопления только их, что экономит значительные финансовые средства. В остальные месяцы домовладельцы вынуждены подключать другое оборудование для получения необходимой тепловой энергии.

Солнечные коллекторы и батареи являются альтернативными источниками получения тепловой энергии, система окупается в первые три года и снижает финансовое бремя с домовладельца, но использование систем не возможно круглогодично, поэтому газовое отопление является одним из основных способов получения тепловой энергии. Использование комбинированных способов отопления способствует повышению эффективности отопительных систем жилого дома.

Список литературы

1. Погода в Омске: [Электронный ресурс]. Омск, 2011-2016. URL: www.pogodaomsk.ru. (Дата обращения: 13.02.2017).
2. СНиП 23-01-99. Строительная климатология.
3. Рабинович, М. Д. Сравнение различных методов представления климатологической информации при расчете производительности гелиосистем

// Гелиотехника, № 3, 1986.

4. ГОСТ Р 51595-2000. Нетрадиционная энергетика. Солнечная энергетика. Коллекторы солнечные. Общие технические условия.

5. СНиП 2.04.08-87. Газоснабжение

УДК 621.577

А. Н. Попов, А. М. Бакенова

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

В статье описаны методы энергосбережения на промышленных предприятиях с использованием тепловых насосов. Приведены схемы внедрения теплонасосных установок в производственный цикл. Описан принцип работы этих установок.

Сегодня одним из приоритетных направлений развития энергетики в России является энергосбережение. Данному вопросу уделяется огромное внимание государством, доказательством этого служит указ президента РФ от 07.07.2011 «Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации», а также многочисленные программы, направленные на стимулирование промышленных предприятий различных отраслей.

Так сложилось, что большая часть предприятий в России была создана более 30 лет назад. В то время энергоэффективности уделялось не так много внимания, как сейчас. У проектировщиков была другая цель – максимальное сокращение капитальных вложений. В наши дни ситуация обстоит несколько иначе. Наблюдается рост цен на электрическую и тепловую энергию при постоянном сокращении запасов органического топлива. Сегодня как никогда актуально производить модернизацию или замену агрегатов в целях снижения потребления ресурсов. Более того, энергосбережение с каждым днём становится все более и более доступным.

Тепловой насос – это устройство для переноса энергии от менее нагретого тела к более нагретому, от низкого потенциала к высокому. Низкопотенциальными источниками являются воздух, грунт, водоем. На предприятиях такими источниками могут служить сбросная вода, дымовые газы, вентиляционные выбросы и многое другое. При правильном проектировании можно достичь экономии электрической энергии в четыре

раза. На 1 кВт потребленной электроэнергии будет приходиться 4 кВт произведенной тепловой энергии.

Тепловой насос состоит из четырёх элементов:

1. Испаритель – теплообменный аппарат, в котором происходит теплопередача от низкопотенциального источника к хладагенту.

2. Компрессор – устройство, повышающее давление и температуру хладагента.

3. Конденсатор – теплообменный аппарат, в котором происходит теплопередача от хладагента к высокопотенциальному источнику.

4. Дроссель – устройство, снижающее давление и температуру хладагента перед испарителем.

Тепловые насосы нашли применение не только для отопления жилых помещений, но и в промышленности, например, в процессе сушки древесины. Так, с целью снижения затрат в процессах вакуумной сушки пиломатериалов была разработана технология осциллирующей вакуумно-кондуктивной сушки с применением теплового насоса. Особенностью технологии является передача тепловой энергии влаги, испаренной из материала на стадии вакуумирования в одной камере, на нагрев материала в другой камере. Схема представлена на рис. 1. В данном случае тепловой насос представляет собой замкнутый контур, в котором хладагент переносит тепловую энергию от низкопотенциального источника энергии (испаренная влага из древесины) к высокопотенциальному (жидкостной теплоноситель) с помощью компрессора.

Стоит отметить, что предлагаемая технология вакуумно-конвективной сушки выгодно отличается от традиционных технологий прежде всего уменьшением использования энергии на процесс сушки более чем в три раза, а также уменьшением продолжительности процесса, что отражается на себестоимости готового продукта. Это качество особенно важно для пиломатериалов из твердых лиственных пород древесины [2].

Существует возможность применения тепловых насосов на судне. Обработывающие суда и значительная часть добывающих судов для переработки морепродуктов оснащены мощными вспомогательными котлами и электростанциями, и только немногие из них имеют утилизационные паровые котлы (УПК). Так, количество добывающих судов водоизмещением более 1000 т, оборудованных УПК, в настоящее время составляет всего около 2 % от общего их числа.

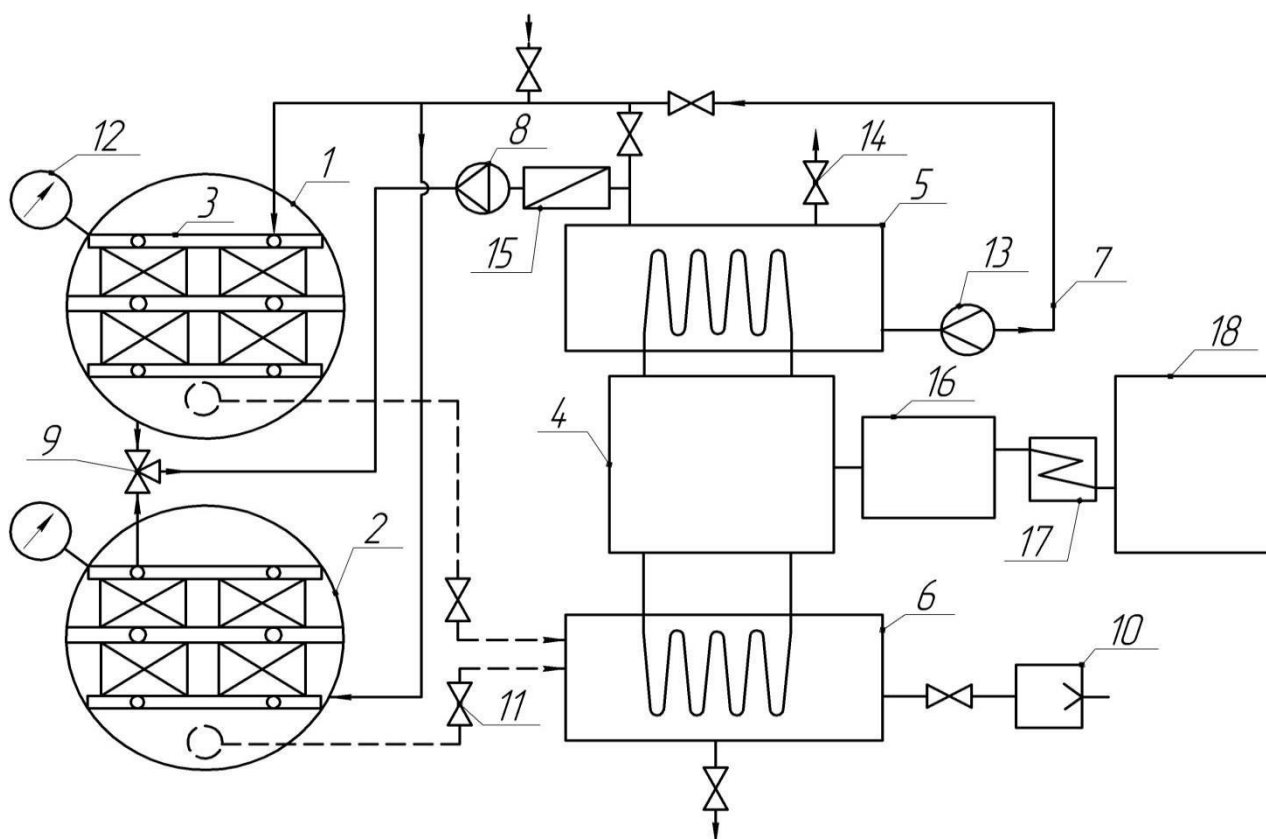


Рис. 1. Экспериментальная установка для исследования осциллирующей вакуумно-кондуктивной сушки пиломатериалов: 1-- верхняя камера; 2 – нижняя камера; 3 – плиты с жидкостным нагревом; 4 – теплонасосная установка; 5 – конденсатор; 6 – испаритель; 7 – трубопровод; 8 – циркуляционный насос; 9 – трехходовой кран; 10 – вакуумный насос; 11 – электромеханический клапан; 12 – вакуумметр; 13 – расходомер; 14 – вентиль; 15 – дополнительный электроподогреватель; 16 – двигатель внутреннего сгорания; 17 – система охлаждения синтез-газа; 18 – газификатор

При использовании теплового насоса возможен отказ от работы вспомогательной котельной установки на ходовом и, возможно, стояночном режимах судна, а, следовательно, есть возможность понизить загрязнение окружающей среды токсичными компонентами уходящих дымовых газов и сэкономить невозобновляемые источники энергии.

Технический результат: снижение затрат на отопление помещений судна высокопотенциальным основным источником тепла за счет дополнительного использования низкопотенциального источника тепла [1].

В большой энергетике использование тепловых насосов также является перспективным направлением энергосбережения. АЭС – это крупные источники низкопотенциальной тепловой энергии, непригодной для

промышленного использования вследствие низкого температурного уровня.

Однако мировой опыт показывает реализуемость на современной технологической базе возможности повышения температурного уровня с помощью тепловых насосов до уровня, необходимого для целей теплоснабжения. В настоящее время предлагаются различные варианты использования тепловых насосов парокомпрессионного типа, обладающих высокими коэффициентами трансформации и позволяющими обеспечить перераспределение тепловых потоков в схеме ПТУ, оптимизировать сетевые установки и снизить сброс тепловой энергии с охлаждающей водой.

Разработана схема, в которой теплоту можно отбирать от воды на входе или на выходе конденсатора турбины. При этом конденсатор теплового насоса подключается к системе регенеративного подогрева и заменяет первый подогреватель низкого давления (рис. 2).

При такой схеме подключения конструкция ПТУ АЭС требует минимальных вмешательств. В данной схеме испаритель теплового насоса устанавливается в подводящий или отводящий канал охлаждающей воды, что значительно упрощает его монтаж.

При подключении испарителя теплового насоса к охлаждающей воде на входе в конденсатор повышение вырабатываемой турбиной мощности происходит за счет двух факторов:

увеличивается расход пара в последних ступенях турбины за счет того, что подогрев конденсата в ПНД 1 осуществляется тепловым насосом, а не отбираемым паром;

появляется возможность увеличения срабатываемого теплоперепада на последних ступенях турбины за счет понижения давления насыщения в конденсаторе в результате отбора тепла испарителем теплового насоса от охлаждающей воды и понижения ее температуры.

При подключении испарителя теплового насоса к охлаждающей воде на выходе из конденсатора увеличение мощности турбины достигается только за счет первого фактора. Однако, так как температура охлаждающей воды на выходе из конденсатора выше, чем на входе, работа теплового насоса более эффективна.

При подключении теплового насоса к охлаждающей воде на входе в конденсатор дополнительно увеличиваются вырабатываемая мощность и затраты энергии на тепловой насос. Во втором случае дополнительно

вырабатываемая мощность будет меньше, но меньше будут и затраты электроэнергии на компрессор теплового насоса [3].

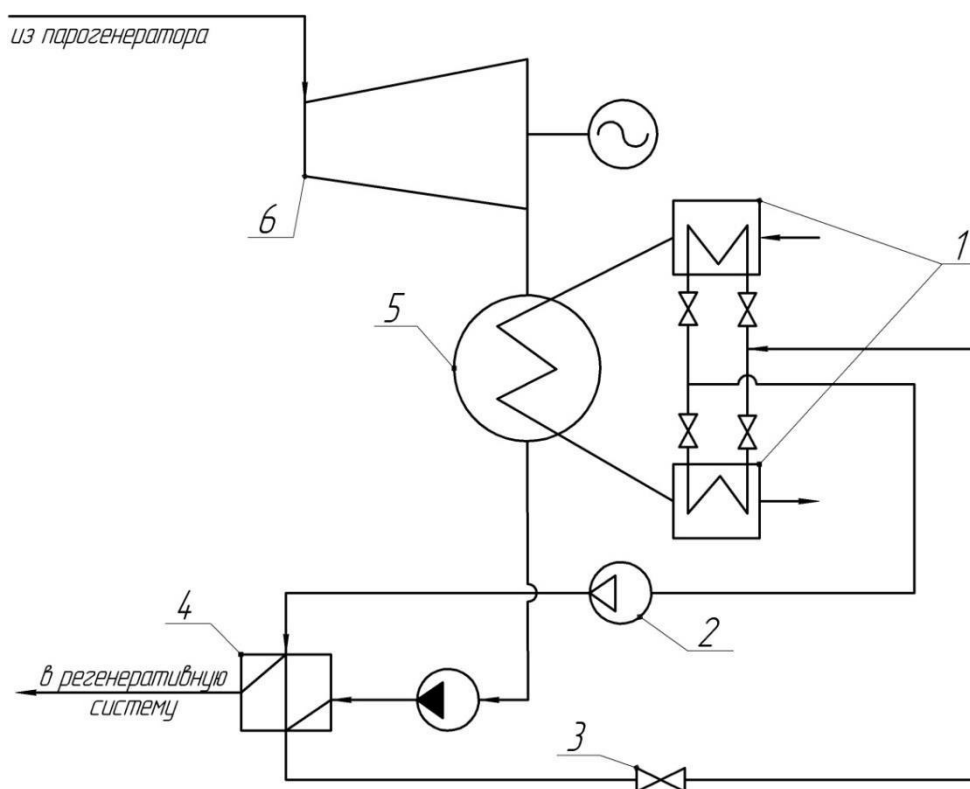


Рис. 2. Принципиальная тепловая схема подключения теплового насоса на АЭС: 1 – испаритель теплового насоса; 2 – компрессор теплового насоса; 3 – дросселирующее устройство; 4 – подогреватель низкого давления (ПНД 1); 5 – конденсатор турбины; 6 – турбина

Использование тепловых насосов охватывает многие области промышленности от мелких деревообрабатывающих предприятий до атомных электростанций. При проектировании энергетических объектов всегда необходимо учитывать возможность внедрения теплонасосных технологий, которые ведут к сокращению расхода топлива и снижению негативного воздействия на окружающую среду.

Список литературы

1. Волынцев, А. В. Обоснование эффективности использования теплового насоса на судне / А. В. Волынцев // Научные труды Дальневосточного государственного технического рыбохозяйственного университета. 2016. Т. 38. № 2. С. 41 – 47.

2. Сафин, Р. Р. Энергоэффективное использование теплового насоса в вакуумной сушке древесины / Р. Р. Сафин // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2016. № 45. С. 44 – 47.

3. Щеклеин, С. Е. Повышение энергоэффективности АЭС / С. Е. Щеклеин // Известия высших учебных заведений / Ядерная энергетика. 2015. № 4. С. 15 – 25.

УДК 62–665.9

Р. А. Вислогузов, А. В. Астафьев

ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ ТОРФА НА АВТОТЕРМИЧНОСТЬ ПРОТЕКАНИЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО ПИРОЛИЗА

Актуальность работы обеспечивается необходимостью вовлечения возобновляемых источников энергии в энергетику. В результате исследований показана возможность автотермической переработки биомассы посредством низкотемпературного пиролиза, для этого влажность торфа № 2 не должна превышать 12,7 %.

Введение

С каждым годом интерес к ВИЭ в мире неуклонно возрастает. Это связано с их повсеместным наличием, экологичностью использования и возможностью получения энергетической независимости от других стран или регионов. Доля ВИЭ в общемировом топливно-энергетическом балансе к настоящему моменту уже превысила 5 % [1].

Однако использование возобновляемых источников энергии также имеет ряд сложностей для повсеместного внедрения, обусловленных климатическими и географическими факторами [2]. В этом отношении универсальным видом ВИЭ является биомасса (древесина, отходы лесоперерабатывающей и сельскохозяйственной деятельности, бытовые отходы и т. п.). Торф, благодаря своим внушительным запасам (мировые запасы торфа оцениваются в 250 – 500 млрд. т [3]), возобновляемости ресурсов и широкому географическому распространению, так же может быть причислен к биомассе.

Причиной низкой доли вовлечения торфа в топливно-энергетический баланс является ряд свойств, затрудняющих его энергетическое использование: высокие значения влажности и зольности, хрупкость и крошимость, а также низкая теплота сгорания. Поэтому его непосредственное сжигание

сопровождается большими эксплуатационными затратами.

Необходимо искать способы эффективного вовлечения торфа в энергетическое использование. Авторами рассмотрен низкотемпературный пиролиз как способ, позволяющий перерабатывать торф в энергетически ценные твердые, жидкие и газообразные продукты. Это позволяет использовать торф в различных видах топливосжигающего оборудования (твердотопливных и газомазутных котлах).

Основным фактором, препятствующим широкому использованию пиролиза для переработки биомассы, является необходимость подвода большого количества тепла, предназначенного для организации и протекания процесса. Этот фактор оказывает существенное влияние на результат технико-экономического обоснования разрабатываемой технологии. Подбор параметров пиролиза и условий для его автотермического протекания способствует развитию пиролизных технологий переработки биомассы.

Целью работы является экспериментальное исследование влияния влажности исходного торфа на возможность автотермического протекания низкотемпературного пиролиза.

Материал и методы исследования

В работе рассмотрены две пробы торфа из месторождений, находящихся в относительной географической близости. Пробы выдержаны до воздушно-сухого состояния и проанализированы согласно российским стандартам ГОСТ Р 52911-2013, 55661-2013, 55660-2013 (табл. 1). Теплота сгорания (Q_i^r) исследована на калориметре АБК-1 согласно ГОСТ 147-2013. Элементный состав торфа определен на анализаторе Vario Micro Cube.

Пробы торфа относятся к низинному типу, что, вероятно, и обуславливает довольно высокое значение их зольности ($A^d=22,8$ и $32,6$ %). Выход летучих (V^{daf}) составляет $62,9$ и $74,8$ %, что говорит о высокой реакционной способности торфа при сжигании. Несмотря на невысокую влажность ($W^a = 7,1$ и $9,9$ %), теплота сгорания торфяных проб имеет довольно низкое значение ($Q_i^r = 7,6$ и $11,8$ МДж/кг), что обусловлено высокой долей содержания минеральной части.

Таблица 1

Характеристики торфа

Проба торфа	Влажность W^a , %	Зольность на сухую массу A^d , %	Выход летучих веществ V^{daf} , %	Низшая теплота сгорания Q_i^r , МДж/кг	Элементный состав на сухую беззольную массу, %				
					C^{daf}	H^{daf}	N^{daf}	S^{daf}	O^{daf}
№ 1	7,1	32,6	62,9	7,6	56,39	5,02	3,10	0,08	35,41
№ 2	9,9	22,8	74,8	11,8	52,06	6,31	3,58	0,20	37,85

Для проведения физического эксперимента была изготовлена лабораторная установка (рис. 1), состоящая из реторты 1, колбы-приемника 2, бани-сосуда для охлаждения 3, соединительной трубки 4, термпары 5 и емкости 6 для отбора газовых проб.

При проведении эксперимента торф предварительно измельчали до размеров 0,2 – 1,0 мм и анализировали на измерителе влажности «Элвис-2С». Далее торф взвешивали, загружали в реторту и осуществляли нагрев. Скорость и температура нагрева выбраны согласно рекомендациям ГОСТ 3168–93.

Для исследования тепловых эффектов пиролиза торфа проведены термогравиметрический (ТГ) и дифференциальный термический (ДТА) анализы на микротермоанализаторе STA 449С. Скорость нагрева выбрана 10°C в минуту.

Для осуществления процесса необходимо подведение тепла (Q), которое расходуется на сушку (Q_1) и нагрев (Q_2) до температуры начала разложения торфа, нагрев до состояния углеродистого остатка (Q_3), а также потерю тепла с летучими продуктами пиролиза – газа (Q_4), паров пирогенетической влаги (Q_5) и смолы (Q_6). Термическое воздействие на торф сопровождается разложением как органической, так и минеральной части. В результате разложения протекают различные реакции эндотермического и экзотермического характера, совокупность значений которых определяет величину суммы теплового эффекта ($Q_{тэ}$).

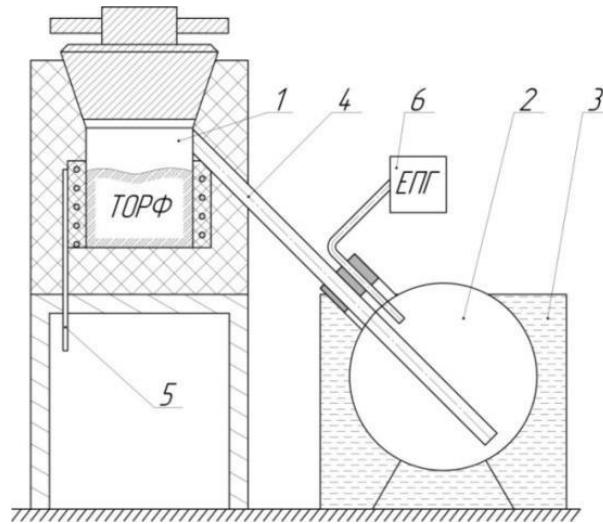


Рис. 1. Лабораторная установка для определения выхода продуктов полукоксования: 1 – реторта; 2 – колба-приёмник; 3 – баня-сосуд (наполнена водой); 4 – соединительная трубка; 5 – термопара; 6 – емкость

Таким образом, величину тепла, кДж/кг, необходимого для пиролиза торфа, можно определить:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 \pm Q_{ТЭ}; \quad (1)$$

$$Q_1 = \frac{m \cdot \frac{W^a}{100} \cdot C_{p_{H_2O}} \cdot (t_d - t_0) + m \cdot \frac{W^a}{100} \cdot r}{m}, \quad (2)$$

где m – масса торфа, кг; $C_{p_{H_2O}}$ – теплоемкость воды, кДж/(кг·°C); t_d – температура сушки торфа, принята 100 °C; t_0 – начальная температура торфа, принята 20 °C; r – теплота парообразования, кДж/кг.

$$Q_2 = \frac{m \cdot \left(1 - \frac{W^a}{100}\right) \cdot C_{p_b} \cdot (t_d - t_0)}{m}, \quad (3)$$

где C_{p_b} – теплоемкость торфа согласно [4], кДж/(кг·°C).

$$Q_3 = \frac{m_{ch} \cdot C_{p_{ch}} \cdot (t_p - t_d)}{m} = \frac{\left(1 - \frac{W^a}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{\omega_{ch}}{100}\right)}{2} \cdot C_{p_{ch}} \cdot (t_p - t_d), \quad (4)$$

где m_{ch} – масса углеродистого остатка, кг; $C_{p_{ch}}$ – теплоемкость углеродистого остатка согласно [4], кДж/(кг·°C); t_p – температура торфа при пиролизе (согласно рис. 2 принята 400 °C); ω_{ch} – выход углеродистого остатка, %.

$$Q_4 = \frac{m_g \cdot C_{p_g} \cdot (t_p - t_d)}{m} = \left(1 - \frac{W^a}{100}\right) \cdot \left(\frac{\omega_g}{100}\right) \cdot \sum_{i=1}^n \frac{C_{p_i}}{n \cdot \rho_g} \cdot (t_p - t_d), \quad (5)$$

где m_g – масса газа, кг; C_{p_g} – теплоемкость газа, кДж/(кг·°C); ω_g – выход газа, %; $i = 1 \dots n$ – количество компонентов, определенных в газе; C_{p_i} –

теплоемкость компонента согласно справочным данным [5], кДж/(м³·°C); ρ_g – плотность газа, кг/м³.

$$Q_5 = \frac{m_{pm} \cdot C_{p_{pm}} \cdot (t_p - t_d)}{m} = \left(1 - \frac{W^a}{100}\right) \cdot \left(\frac{\omega_{pm}}{100}\right) \cdot C_{p_{pm}} \cdot (t_p - t_d), \quad (6)$$

где m_{pm} – масса пирогенетической влаги, кг; $C_{p_{pm}}$ – теплоемкость паров пирогенетической влаги, кДж/(м³·°C); ρ_{pm} – плотность паров пирогенетической влаги, кг/м³.

$$Q_6 = \frac{m_{tar} \cdot C_{p_{tar}} \cdot (t_p - 100)}{m} = \left(1 - \frac{W^a}{100}\right) \cdot \left(\frac{\omega_{tar}}{100}\right) \cdot C_{p_{tar}} \cdot (t_p - t_d), \quad (7)$$

где m_{tar} – масса смолы, кг; $C_{p_{tar}}$ – теплоемкость смолы согласно данным [6], кДж/(кг·°C); ω_{tar} – выход смолы, %.

Величина теплового эффекта ($Q_{тз}$) определялась по кривой ДТА.

Полученные результаты и их обсуждение

По данным, полученным при пиролизе торфа, составлен материальный баланс (рис. 2). Среди продуктов пиролиза наибольший выход (по отношению к массе высушенного торфа) имеет углеродистый остаток – 64,75 и 76,75 %. Однако этот остаток включает как углеродистую часть, так и минеральную часть. Состав газа, получаемого при пиролизе, приведен в табл. 2.

Результаты дифференциально-термического анализа приведены на рис. 3. Обработка кривых ДТА показала, что при термическом разложении исследованных проб торфа преобладают экзотермические реакции (табл. 3).

Результаты расчета (1) – (7) для исследованных проб торфа (при значениях влажности из табл. 1) приведены в табл. 3. Видно, что теплового экзоэффекта при пиролизе торфа № 1 недостаточно для проведения процесса в автотермическом режиме. Суммарный тепловой эффект пиролиза торфа № 2 имеет положительное значение (+84,3 кДж/кг). Таким образом, при разложении торфа № 2 выделяется больше тепла, чем затрачивается на организацию процесса. Это позволяет предположить, что пиролиз данного торфа возможно осуществлять в автотермическом режиме после инициации процесса.

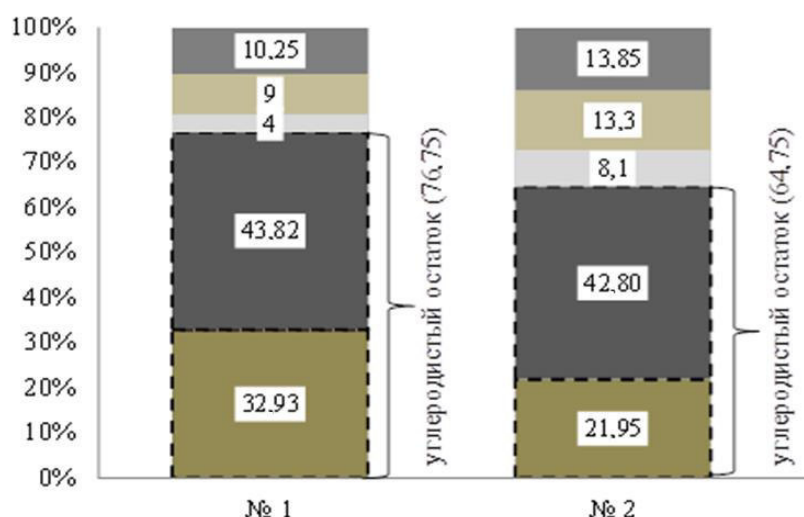


Рис. 2. Материальный баланс продуктов пиролиза торфа

Таблица 2

Характеристики газа

Проба торфа	Состав топливного газа, %					Теплоемкость C_p , кДж/(м ³ ·°C)	Плотность газа ρ , кг/м ³	Теплота сгорания газа Q_d^i , МДж/м ³ (МДж/кг)
	H ₂	CO	CH ₄	C _m H _n	CO ₂ +N ₂			
№ 1	1,19	15,12	2,63	6,55	74,51	1,936	1,82	7,64
№ 2	0,71	12,71	1,29	9,99	75,30	2,054	1,87	9,26

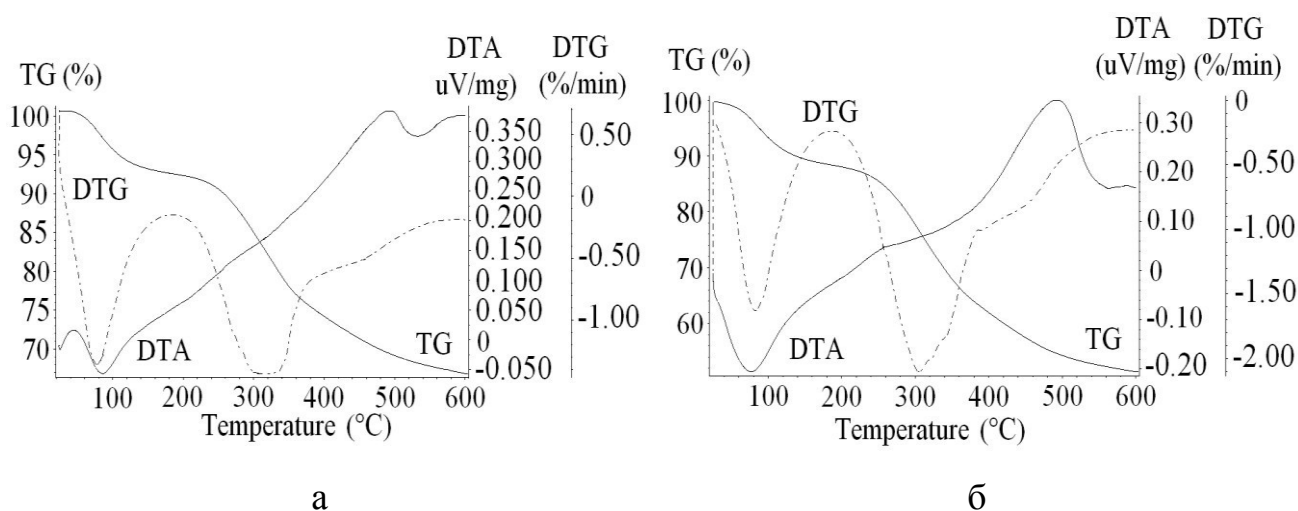
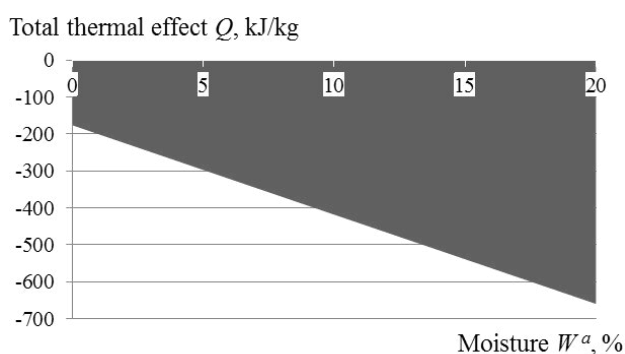


Рис. 3. Кривые термического анализа торфа: а – проба № 1, б – проба № 2

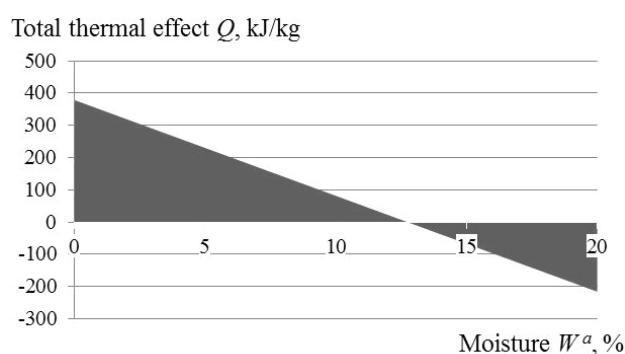
Однако в естественном состоянии влажность торфа существенно выше значений воздушно-сухого состояния, приведенного в табл. 1. В связи с этим на рис. 4 приведена оценка суммарного теплового эффекта при различной исходной влажности торфа.

Оценка тепловых затрат пиролиза

Проба торфа	Составляющие пиролиза, кДж/кг						Тепловой эффект (Q_{te}), кДж/кг	Суммарный тепловой эффект (Q), кДж/кг
	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5	Q_6		
№ 1	-184,1	-104,0	-174,1	-30,4	-65,2	-21,8	+231,3	-348,4
№ 2	-256,7	-100,9	-157,4	-41,1	-93,5	-42,7	+776,7	+84,3



а



б

Рис. 4. Зависимость суммарного теплового эффекта (Q) в процессе пиролиза торфа от влажности (W^a): а – торф № 1; б – торф № 2

Из рис. 4 видно, что торф № 1 даже в высушенном состоянии не может быть переработан в автотермическом режиме пиролиза из-за малой величины теплового эффекта ($Q_{тэ}$). Это можно объяснить высоким значением зольности ($A^d=32,6$ %). В минеральной части содержится большое количество карбонатов, часть которых эндотермически разлагается уже при температурах свыше 180°C [7], понижая совокупный тепловой эффект ($Q_{тэ}$). Низкотемпературный пиролиз торфа № 2 может осуществляться в автотермическом режиме при значении влажности менее 12,7 %.

Заключение

1. На примере торфа № 2 показана возможность осуществления низкотемпературного пиролиза в автотермическом режиме. Для этого влажность торфа не должна превышать 12,7 %.

2. Переработку торфа № 1 в автотермическом режиме посредством низкотемпературного пиролиза осуществить не удастся даже в высушенном состоянии, что, вероятно, объясняется высоким содержанием минеральной части в составе торфа.

Список литературы

1. Fortov V. E., Popel' O. S. The current status of the development of renewable energy sources worldwide and in Russia // Therm. Eng. – 2014. – Vol. 61. – P. 389–398.
2. Izadyar N., Ong H. C., Chong W. T., Leong K. Y. Resource assessment of the renewable energy potential for a remote area // Renew. Sustain. Energy Rev. – 2016. – Vol. 62. – P. 908–923.
3. Grishin A. M., Zima V. P., Kasymov D. P. On the deepening mechanism of the site of peat combustion // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. – 2013. – Vol. 86. – P. 996–1001.
4. Milosavljevic I., Oja V., Suuberg E. M. Thermal effects in cellulose pyrolysis: Relationship to char formation processes // Industrial and Engineering Chemistry Research. – 1996. – Vol. 35. – P. 653–662.
5. Кулеш, Р. Н., Тепломассоперенос при зажигании и горении массива торфа: автореферат дисс. канд. техн. наук. – Томск: ТПУ, 2010. – 19 с.
6. Тепловой расчет котлов: нормативный метод. – СПб.: 1998. – 256 с.
7. Залкинд, И. Я. Зола и шлаки в котельных топках / И. Я. Залкинд, В. С. Вдовченко, Э. П. Дик – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 80 с.

УДК 620.93

В. В. Попова

АВТОНОМНАЯ ГАЗИФИКАЦИЯ МАЛЫХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

Автор рассматривает автономную газификацию, положительные и отрицательные стороны такой газификации, схемы подключения автономной газификации. Так же рассматривается состав системы такого газоснабжения.

В Российской Федерации существует программа газификации регионов при поддержке компании ПАО «Газпром», которая осуществляет дифференцированное участие в газификации. Концепция газификации разделяет регионы на три группы:

– в первую группу входят регионы, имеющие развитую систему газопроводов и подключенные к Единой системе газоснабжения (ЕСГ);

– во вторую группу - субъекты РФ, в которых существует местная система газоснабжения, обособленная от ЕСГ, или есть газовые (газоконденсатные) месторождения;

– в третью группу объединены регионы, не подключенные к ЕСГ и не имеющие ни региональных систем газоснабжения, ни газовых (газоконденсатных) месторождений.

Регионы из третьей группы смогут использовать только автономную газификацию, а из первой и второй групп будут применять частично.

Автономная газификация выгодна не только для целых регионов, но и для небольших поселков, находящихся недалеко от крупных городов. В частности, новые коттеджные поселки элитные и эконом класса имеют свою инфраструктуру. Подключать их к централизованным системам инженерных коммуникаций (отопление, газоснабжение) не целесообразно. Так как затраты на подключение к магистральному газопроводу и дальнейшую эксплуатацию его будут превышать расходы на обслуживание, установку и использование автономного газоснабжения.

Автономное газоснабжение проводится на любых площадях и ландшафтах, оно помогает решить проблемы с отоплением, горячим водоснабжением и аварийным электроснабжением, а так же предоставляет возможность газификации любого жилого объекта имеющего подъезд автотранспорта.

Отопление коттеджных поселков проводится по двум схемам:

- а) закрытая, с установлением БМК (блочной-модульной котельной);
- б) индивидуальная, установка в каждый дом индивидуального газового котла.

В обоих случаях производится и общая газификация коттеджного поселка – газ подводится к каждому коттеджу, где используется в газовых кухонных плитах и в другом газопотребляющем оборудовании.

Монтаж систем газового отопления производится быстро, надежно и безопасно. Экономическая целесообразность газификации малых населенных пунктов появляется при подключении от 20 домов и более.

В систему автономного газоснабжения входят:

- газгольдеры, емкости для хранения сжиженного газа, предохраненные от электрохимической коррозии системы анодно-катодной защиты, которые помогают продлить срок службы газгольдеров;

- узел слива для заправки емкости из газовоза;
- газопроводы для двух фаз сжиженного газа;
- испарительная установка;
- насосная установка;
- щит управления;
- счетчики;
- блочная газовая котельная (БГК), при условии использования общей котельной для всего поселка (индивидуальные газовые котлы не нужны);

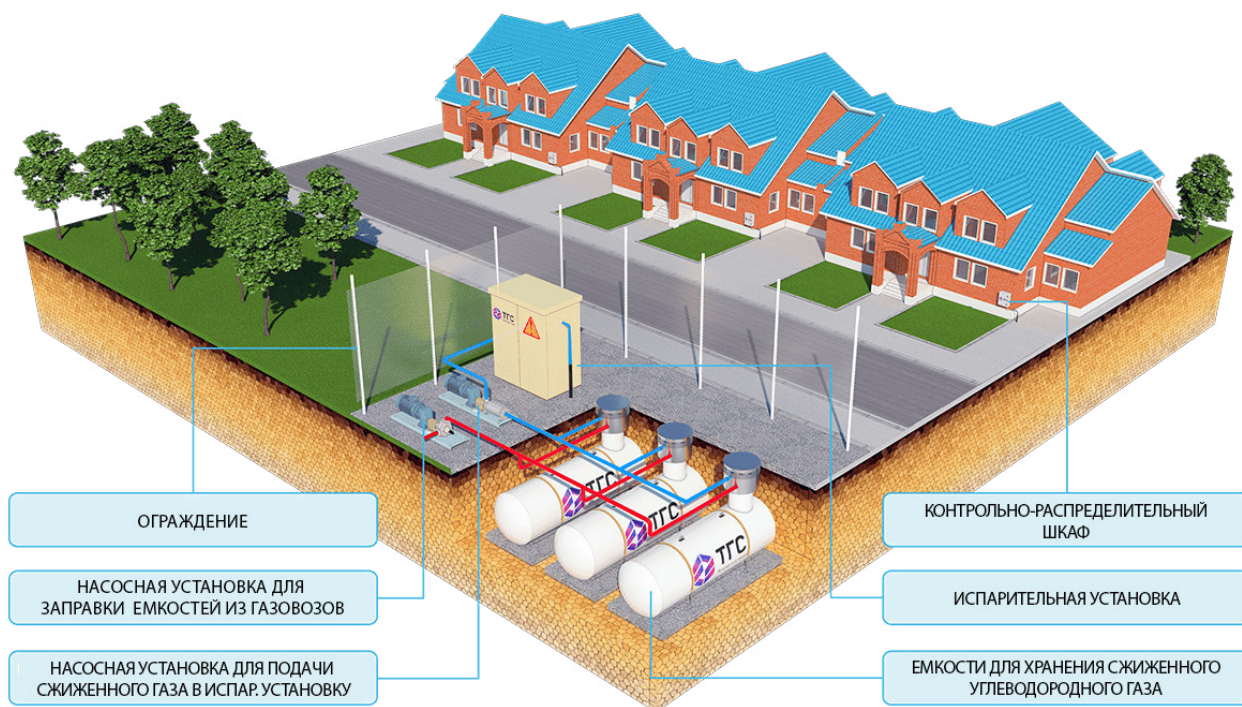


Рис. 1. Составные части системы

К преимуществам такой системы относят:

- а) экономия – стоимость автономной газификации окупается за счет сокращения расходов на отопление;
- б) монтаж и установка оборудования производится в короткий срок;
- в) экологичность – сгоревший газ не содержит опасных веществ;
- г) индивидуальный подход;
- д) независимость от магистральных систем снабжения.

Недостатки автономного газоснабжения следующие:

- а) Высокая стоимость;
- б) Необходимость контроля состояния газгольдера;
- в) Возникновение конденсата в редукторе;
- г) Зависимость от поставщика газа.

Автономная газификация – один из важнейших факторов решения проблем значительной части населения, как отдаленных регионов, так и небольших поселений, находящихся в отдалении от систем газоснабжения сетевым природным газом.

Строительство дорог, развитие транспортных средств большой грузоподъемности ведет к доступности автономной газификации малых населенных не газифицированных пунктов.

Список литературы

1. ООО «Газпром межрегионгаз» - ПАО Газпром. [Электронный ресурс] <http://mrg.gazprom.ru/about/gasification/>
2. Автономная газификация коттеджей. ТГС Теплогазстрой. [Электронный ресурс] <https://tgs.su/uslugi/gazifikaciya-i-gazosnabzhenie/gazifikaciya-kottedzha>
3. СНиП 2.04.08-87. Газоснабжение
4. СНиП 42-01-2002. Газораспределительные системы.

УДК 662.767.2 : 66.074.3

С. В. Приходько

БИОГАЗ: СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБОГАЩЕНИЯ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ЗА РУБЕЖОМ

Биогаз образуется при анаэробном сбраживании органических субстратов (навоз, осадок сточных вод, зеленая масса энергетических культур) и органических составляющих бытовых и промышленных отходов. Промышленное производство биогаза осуществляется в метантенках. Биогаз, образующийся во время анаэробного разложения отходов, захороненных на полигонах, носит название «свалочного газа».

Начиная с 1980-х годов в мире получили развитие технологии, позволяющие получать энергию из биологических отходов [1]. Производство и использование биогаза обладает рядом экологических преимуществ:

субстрат, используемый для производства биогаза, является возобновляемым источником энергии;

использование биогаза позволяет уменьшить объем выделения метана в атмосферу от разлагающихся биоотходов;

биогаз используется в качестве замены ископаемого топлива;

при выработке в метантенках, одновременно с биогазом производится высококачественный сброженный органический осадок, который может быть использован в качестве удобрения.

Биогаз состоит в основном из метана и диоксида углерода, и после очистки и обогащения может быть использован как топливо для котельных или автомобилей; очищенный метан, входящий в состав биогаза, может быть использован в качестве исходного сырья в различных отраслях промышленности.

При сбраживании биологического сырья в анаэробных условиях происходит разложение веществ, входящих в его состав, различными типами микроорганизмов. Продукты разложения представляют собой газ, называемый *биогазом*, и суспензию или твердую фракцию – сброженный органический осадок, называемый *дигестатом*. На выход биогаза и содержание в нем метана значительное влияние оказывает состав исходного сырья.

Свалочный газ, выделяющийся при анаэробном разложении органики на мусорных свалках, по составу и свойствам очень похож на биогаз, но содержание метана в нем, как правило, ниже. Кроме того, в отличие от биогаза, получаемого при сбраживании биоотходов, свалочный газ обычно содержит некоторое количество азота воздуха, который просачивается в тело мусорного полигона, и большое количество т. н. «следовых» газов.

Основное различие в составе между биогазом и природным газом связано с содержанием диоксида углерода, который является одним из основных компонентов биогаза (30 – 40 %), в то время как в природном газе он содержится в очень малом количестве (менее 1 %). Кроме того, природный газ содержит некоторое количество других углеводородов, помимо метана. По этой причине теплота сгорания необогащенного биогаза ниже, чем у природного газа.

Таким образом, для применения в качестве топлива биогаз должен быть подвергнут обогащению. Теплота сгорания биогаза прямо пропорциональна концентрации в нем метана и может быть увеличена за счет удаления диоксида углерода. После обогащения теплота сгорания биогаза становится сравнимой с теплотой сгорания природного газа.

Помимо метана и диоксида углерода, биогаз может содержать водяной пар, сероводород, азот, кислород, аммиак, силоксаны и твердые частицы. Концентрации примесей зависят от состава субстрата, из которого был получен газ. Для повышения качества получаемого биогаза и с целью предотвращения коррозии и механического износа оборудования, он должен быть очищен от примесей. Наиболее целесообразно очищать газ до начала процесса обогащения.

На сегодняшний день существует целый ряд технологий обогащения биогаза, они постоянно совершенствуются [2, 3]. К ним могут быть отнесены: адсорбция за счет перепада давления; ряд абсорбционных технологий; обогащение с помощью мембранных фильтров.

Адсорбция за счет перепада давления (Pressure Swing Adsorption - PSA)

При использовании этой технологии диоксид углерода отделяется от биогаза путем адсорбции на поверхности под давлением. Адсорбирующий материал (активированный уголь или цеолиты) регенерируется путем последовательного снижения давления, затем колонна может быть загружена повторно. Обоганительная установка, использующая этот метод, состоит из нескольких колонн, работающих параллельно. Когда адсорбирующий материал в одной колонне становится насыщенным, поток исходного газа переключается на другую, в которой адсорбирующий материал уже был регенерирован.

Во время регенерации происходит ступенчатое уменьшение давления. Газ, десорбирующийся во время первого и, в некоторых случаях, второго снижения давления, может быть возвращен на вход исходного газа, так как он содержит некоторое количество метана, адсорбировавшегося вместе с диоксидом углерода. Газ, десорбирующийся на последующей стадии снижения давления, либо направляется на следующую колонну, либо, если метана в его составе практически не содержится, сбрасывается в атмосферу. Если в исходном газе присутствует сероводород, он будет необратимо адсорбирован адсорбирующим материалом. Кроме того, вода, присутствующая в исходном газе, может вызвать разрушение структуры адсорбента. Поэтому и сероводород, и вода должны быть удалены из газа перед его подачей в *PSA*-колонну.

Система *PSA* была разработана канадской компанией *Quest Air* для очистки и обогащения водорода. Швейцарская компания *Action Systems*

выполнила дальнейшую доработку данной системы, позволившую использовать ее для обогащения биогаза.

Абсорбционные технологии. В обогатительной установке, использующей метод абсорбции, исходный биогаз направляется в колонну, заполненную пластиковой набивкой, омываемой жидкостью. Принцип, лежащий в основе метода абсорбции, заключается в том, что диоксид углерода растворяется в воде лучше, чем метан. Таким образом, жидкость, выходящая из колонны, будет содержать повышенную концентрацию диоксида углерода, тогда как газ, выходящий из нее, будет иметь повышенную концентрацию метана. Примерами абсорбционных технологий, использующих различные типы абсорбентов, являются мокрая очистка, абсорбция органическим растворителем и очистка в скрубберах с использованием химреагентов.

Мокрая очистка. Диоксид углерода имеет более высокую растворимость в воде, чем метан, особенно при низких температурах (5 – 10 °C). В скрубберной колонне диоксид углерода растворяется в воде, тогда как концентрация метана в газовой фазе увеличивается. Поэтому газ, выходящий из скруббера, имеет повышенную концентрацию метана. Вода, покидающая абсорбционную колонну, подается в испарительный резервуар, где из нее удаляется растворенный газ, содержащий некоторое количество метана и диоксида углерода. Для достижения большей разницы в растворимости вода охлаждается, прежде чем ее возвращают обратно в абсорбционную колонну.

Финской компанией *Metener* была разработана технология мокрой очистки в скрубберах, в которых одновременно происходит очистка и обогащение биогаза при значительном повышении его давления (до 15,0 МПа) в периодическом режиме. Исходный биогаз сжимается и подается в колонну, которая затем заполняется водой с помощью насосов высокого давления. Диоксид углерода и сернистые соединения растворяются в воде. Далее обогащенный и очищенный газ под давлением покидает колонну, и вода очищается от растворенных газов в испарительном баке. Система состоит из двух колонн, работающих параллельно в разных фазах.

Абсорбция органическим растворителем. Этот способ очистки отличается от предыдущего только тем, что поглощение углекислого газа происходит органическим растворителем, таким как полиэтиленгликоль. Углекислый газ в полиэтиленгликоле растворяется лучше, чем в воде, и поэтому при той же самой производительности расход растворителя будет

ниже и размеры установки – меньше. Раствор полиэтиленгликоля регенерируют нагреванием и (или) понижением давления. Вместе с диоксидом углерода могут быть удалены сероводород, вода, кислород и азот. Однако, как правило, они удаляются из биогаза до подачи его на обогащение.

Очистка в скрубберах с использованием химреагентов. В скрубберах такого типа используют растворы моноэтаноламина и диметилэтаноламина. Углекислый газ не только поглощается водой, но и вступает в химическую реакцию с аминами, содержащимися в ней. Поскольку данная химическая реакция весьма селективна, потеря метана в процессе очистки составляют менее 0,1%. Раствор, в котором химически связан диоксид углерода, регенерируется нагреванием. Если в необработанном газе присутствует сероводород, он будет также абсорбирован в аминном растворе, и для регенерации рабочей жидкости потребуются более высокие температуры. Поэтому его рекомендуется удалить перед подачей газа в аминный скруббер.

Мембранные фильтры. Разделение с помощью мембран является одним из классических методов обогащения свалочного газа. Первые установки, работающие по данной технологии, были построены в конце 1970-х гг. в США, а затем в Нидерландах. Однако для ранних проектов, работающих при повышенном давлении (до 3,0 МПа), были характерны значительные потери метана (до 25 %). На современных установках, работающих при давлении около 0,8 МПа, потери метана значительно меньше.

Сухие мембранные фильтры, применяемые для обогащения биогаза, изготавливаются из материалов, легко проницаемых для углекислого газа, воды и аммиака. Молекулы сероводорода и кислорода проникают через мембрану в несколько меньшей степени, а молекулы азота и метана проходят через нее только в незначительном количестве. Перед поступлением газа на мембрану его пропускают через фильтр, улавливающий капли воды и масла, наличие которых в очищаемом газе отрицательно повлияет на работу мембраны. Кроме того, перед подачей на мембрану из газа удаляют сероводород, обычно с помощью активированного угля. Понижая температуру газа, прошедшего через мембраны и содержащего некоторое количество метана, до температуры кипения метана (-161,5 °C) можно отделить азот, температура кипения которого значительно ниже.

В США был разработан проект установки, в которой свалочный газ сначала очищается с помощью процесса *CO2 Wash®*, позволяющего удалять

силоксаны, соединения серы, галогенированные соединения и неметановые углеводороды, а затем подается на мембранные фильтры, после чего обогащенный газ сжижается с использованием жидкого азота. Содержание диоксида углерода при этом снижается с 30 % до 50 *ppm* с помощью двух мембран *Acrion*, располагаемых последовательно.

Помимо непрерывного совершенствования уже известных, постоянно разрабатываются новые технологии обогащения [2]. К ним могут быть отнесены такие технологии как: криогенное обогащение, обогащение «на месте получения», обогащение с помощью ферментов.

Криогенное обогащение. Эта технология может применяться для разделения газов, имеющих различные значения температуры точки кипения. Исходный биогаз охлаждают до температуры, при которой диоксид углерода в газе конденсируется или сублимируется (в зависимости от давления) и может быть отделен в виде жидкости или твердой фракции, тогда как метан накапливается в газовой фазе. Одновременно во время охлаждения газа удаляются вода и силоксаны. Сублимация чистого диоксида углерода при атмосферном давлении происходит при температуре $-78,5^{\circ}\text{C}$. Однако для сублимации диоксида углерода, находящегося в смеси с метаном, необходимо более высокое давление и (или) более низкая температура. Охлаждение обычно проводится в несколько этапов, чтобы позволяет разделять примеси, содержащиеся в биогазе, и оптимизировать процесс рекуперации энергии.

В системе *GPP®*, разработанной компанией *Gastreatment Services B.V.*, биогаз сначала сжимается до 1,7 – 2,6 МПа, а затем охлаждается до -25°C . На этой стадии из него удаляются вода, сероводород, диоксид серы, галогены и силоксаны. Затем газ пропускают через коалесцентный фильтр, а затем через фильтр, заполненный катализатором *SOXSIA®*, в котором происходит удаление всех оставшихся загрязнителей. Далее в два этапа происходит удаление углекислого газа. На первом этапе газ охлаждают до температуры от -50 до -59°C , при этом до 40 % диоксида углерода удаляется в виде жидкости. На втором – происходит сублимация оставшегося диоксида углерода и удаление его в виде твердого вещества. Для процесса требуется вторая колонна, которая используется при оттаивании и удалении диоксида углерода из первой колонны. Компанией *Gastreatment Services B.V.* также была разработана система *GPP®plus*, конечными продуктами которой является обогащенный биогаз и жидкий метан.

Для обогащения свалочного газа компанией *Prometheus* была разработана система, которая состоит из трех модулей:

1. Модуль предварительной очистки: здесь происходит удаление соединений серы, неметановых органических соединений (включая силоксаны) и водяного пара, газ сжимается примерно до 0,44 МПа.

2. Модуль основной очистки: углекислый газ удаляют замораживанием, при этом одновременно осуществляется предварительное охлаждение метана и азота.

3. Модуль сжижения и доочистки: очищенный газ сжижается, при этом концентрация метана увеличивается за счет динамического испарения азота.

Первая промышленная установка, работающая по данной технологии, была построена в 2006 г. на полигоне Бауермен (США) компаниями *Prometheus* и *Montauk Energy Capital*.

Обогащение метана «на месте получения». Углекислый газ растворим в воде, поэтому некоторая его часть растворяется в жидкой фазе метантенка. При обогащении метана «на месте» ил из метантенка периодически подается в десорбционную колонну, а затем возвращается в метантенк. В десорбционной колонне происходит удаление диоксида углерода из ила путем прокачивания через ил воздуха. Вследствие непрерывного удаления диоксида углерода из ила концентрация метана в биогазе, выходящем из метантенка, повышается. При использовании данной технологии возможно получение биогаза, на 90 – 95 % состоящего из метана, с потерей метана в процессе десорбции менее 2 %.

Технология является относительно простой, при ее применении нет необходимости в большом количестве вспомогательного оборудования, такого как резервуары, работающие под давлением. Поэтому она обладает большим потенциалом к внедрению по сравнению с другими технологиями. Однако этот процесс может применяться только на небольших установках, где не требуется высокая (> 95%) концентрация метана в получаемом газе.

Использование ферментов. В крови человека присутствует фермент карбоангидраза, он катализирует растворение углекислого газа, который образуется во время метаболизма в клетках организма. Растворенный диоксид углерода в виде карбоната затем транспортируется в легкие, где тот же фермент катализирует обратную реакцию с образованием углекислого газа и воды.

Этот фермент может быть использован для растворения диоксида углерода, содержащегося в биогазе, и, тем самым, его удаления. При использовании данной технологии биогаз может быть очищен до содержания метана 99 %.

Этот метод был разработан канадской компанией *CO2 Solution Inc.*, имеющей патент на биореактор с использованием фермента для растворения углекислого газа. Компания занимается не только вопросами обогащения биогаза, но также изучает возможность применения данного метода в системах вентиляции.

Обогащенный биогаз может заменить природный газ, широко используемый во многих странах. Однако обогащение биогаза увеличивает стоимость его производства. Поэтому важно использовать наиболее оптимальный процесс обогащения, имеющий низкое удельное потребление энергии на единицу получаемого продукта и высокую эффективность, позволяющую получить конечный продукт с высоким содержанием метана. Также очень важно минимизировать или, если возможно, исключить возможность выбросов метана при проведении процесса обогащения, поскольку метан является газом, парниковый эффект которого в 23 раза превышает парниковый эффект углекислого газа.

Список литературы

1. Floris van Foreest. Perspectives for biogas in Europe. Oxford: OIES. 2012. p. 54.
2. Petersson A., Wellinger A. Biogas upgrading technologies – developments and innovations. IEA Bioenergy Report, 2009. p. 20.
3. Rasi S. Biogas composition and upgrading to biomethane. Jyvaskyla: University of Jyvaskyla, 2009. p. 79.

УДК 662.767.2

А. М. Бакенова, А. Н. Попов

БИОГАЗ КАК ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ

В статье приведены методики оценки эмиссии и состава биогаза на полигонах твердых бытовых отходов. Также проанализированы методы измерения потоков метана. Сделан вывод о возможности реализации в России одной из данных методик.

Получение биогаза не требует специальных установок, потому как вырабатывается он непосредственно при хранении твердых бытовых отходов (ТБО). Биогаз – топливо, получаемое при сбраживании органических отходов,

т. е искусственно выработанный газ. За первые пять лет хранения ТБО может выделиться примерно 50 % полного запаса биогаза.

Еще в XVII веке нидерландский исследователь Жан Батист ван Гельмонт обнаружил, что разлагающаяся биомасса выделяет воспламеняющиеся газы. В настоящее время, во многих развивающихся странах биогазовые установки обеспечивают топливом жителей своей страны [1, 3]. Например, в Китае в конце 90-х гг. уже было построено более 20 млн биогазовых установок. Не говоря уже о развитых странах, среди которых лидером в производстве биогаза является Дания, здесь вторичное топливо занимает до 18 % в общем энергобалансе страны.

Получаемый биогаз используют, как правило, для отопления помещений: типовая биогазовая установка может обеспечить теплом не только производственные предприятия, но и жилые дома. При разложении одной тонны ТБО выделяется до $7,5 \text{ м}^3$ биогаза в год, теплота сгорания которого колеблется от 15 до 25 МДж/м^3 в зависимости от процентного содержания метана.

Еще одно возможное направление применения биогаза – производство электрической энергии. К примеру, газогенератор в комплексе с биогазовой установкой позволяет выработать около $2 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$ электроэнергии из 1 м^3 биогаза [3]. Также на базе технологий для получения биогаза возможно производство органических удобрений и топлива для автомобилей, но это становится возможным при переработке отходов агропромышленного комплекса.

Снижение уровня загрязнения окружающей среды – еще одна задача по использованию энергетического потенциала полигонов ТБО.

В России разработкой экологически безопасных технологий энергетической утилизации ТБО занимаются АКХ им. К. Д. Памфилова, ВТИ, Институт проблем электрофизики РАН и др.

Эффективность использования энергетического потенциала полигона ТБО в первую очередь будет определяться анализом эмиссии биогаза, существующими оценками и расчетами, позволяющими получить достоверные данные. Зачастую получение данных по участкам полигона требует проведение множества мероприятий, исследований, создания определенных моделей. И уже на основе полученных данных появляется необходимость в анализе методов оценки эмиссии и состава биогаза на полигонах ТБО.

На сегодняшний день существует значительное количество методик по определению эмиссии метана в зависимости от различных исходных данных.

Для предварительной оценки объемов выделяющегося биогаза на полигоне можно использовать следующий упрощенный «аналитический» метод.

Зная данные о годовых объемах захороненных отходов с начала эксплуатации полигона на текущий момент времени с использованием математической модели, например, модели Табасарана – Реттенбергера, можно определить удельное количество биогаза (метана) на тонну отходов, выделяющегося к определенному моменту времени [5]:

$$G_0 = 1,868C_{\text{орг}}(0,14T + 0,028), \quad (1)$$

где G_0 – объем биогаза, выделяющегося при разложении отходов, м³/т;

$C_{\text{орг}}$ – содержание органического углерода, кг/т;

T – температура отходов в теле полигона, °С.

Далее определяется удельный объем биогаза, выделившегося на текущий момент времени:

$$G_t = C_0(1 - 10^{-kt}), \quad (2)$$

где G_t – объем биогаза, выделившегося за расчетный период в t лет, м³/т;

k – константа разложения отходов.

Окончательный вид математической модели корректируется с учетом лабораторных экспериментов с образцами отходов, захораниваемых на полигоне. Объем метана, выделяемый i -м участком полигона, определяется в предположении распределения общей эмиссии по всей поверхности полигона пропорционально площади отдельных участков и измеренной концентрации метана на этих участках:

$$V_t = V_{\text{общ}} \cdot \frac{C_i \cdot F_t}{\sum_{i=1}^n (C_i \cdot F_t)}, \quad (3)$$

где $V_{\text{общ}}$ – эмиссия метана со всего полигона, м³/год;

C_i – концентрация метана в поверхностном слое отходов i -го участка полигона, %;

n – общее число участков;

F_i – площадь i -го участка полигона, м².

Такая методика нашла применение в европейских странах для оценки эмиссии биогаза.

Существуют методы, основанные на полевых измерениях, которые позволяют оценить средний выброс на единицу площади. Одна из таких методик получила название «камерного способа». К ее преимуществам можно

отнести недорогую установку и относительно простое обслуживание. «Камерный метод» отличается точностью полученных измерений.

Данный метод основан на использовании газоуловителя в виде специального бокса, в котором на исследуемых участках собирается выделяющийся биогаз [6].

Эмиссия метана F , мг/(м²·с) на исследуемом участке может определяться:

$$F = \frac{V}{A} \left(\frac{dC}{dt} \right), \quad (4)$$

где V – объем камеры, м³;

A – площадь камеры, м²;

dC/dt – изменение концентрации метана во времени, мг/(м³·с).

С учетом влияния метеопараметров эмиссия метана F , мг·м²/ч:

$$F = \frac{D_{ppm} \cdot P \cdot V \cdot M}{D_{time} \cdot A \cdot T \cdot R}, \quad (5)$$

где D_{ppm} – разность концентраций, ppm;

D_{time} – промежуток времени, ч;

P – давление, Па;

V – объем камеры, м³;

M – молярная масса метана, кг/моль;

A – площадь камеры, м²;

T – температура, К;

R – универсальная газовая постоянная, равная 8,3145 Па·м³/(моль·К).

Зная площадь участков, можно определить общий выброс биогаза. Время экспозиции в точке измерения определяется характеристиками газоанализатора и объемом газовой камеры. При небольших значениях времени экспозиции (5 – 10 минут) объем накопленного газа в камере относительно небольшой. Измерения концентрации производятся с большой относительной погрешностью, поэтому необходимо повысить концентрацию газа, что возможно путем увеличения времени экспозиции. При этом повышение концентрации газа в камере может изменить интенсивность диффузии. При нарушении этого условия увеличение концентрации газа в камере будет происходить не по линейному закону.

Также можно отметить, что, несмотря на сравнительную простоту камерного метода, его использование для измерения удельного газового потока требует предварительного тестирования используемого оборудования в лабораторных условиях, так как экспериментальные данные измерения

концентрации метана в камере демонстрирует в отдельных случаях линейность, а в других случаях нелинейность динамики концентрации [7].

Проанализировав рассмотренные выше два метода измерения потоков метана, можно сделать вывод, что для условий российских полигонов наиболее целесообразно применение «камерного метода», так как он является относительно простым. Но следует отметить, что реализация данного метода требует постоянного присутствия специалистов при проведении соответствующих измерений в течение относительно длительного времени, которое в зависимости от интенсивности газовой эмиссии в месте отбора проб может составлять от нескольких десятков минут до нескольких часов. За рубежом проводятся работы по созданию опытных образцов самоходных мобильных «роботов» для мониторинга газовых эмиссий

Если сравнивать инвентаризацию свалок ТБО за рубежом и в России, то в нашей стране самые крупные свалки, как организованные полигоны, находятся в Москве и Санкт-Петербурге.

В России практически отсутствуют объекты размещения отходов, которые могли быть реализованы в проектах получения биогаза. Большинство полигонов – это санкционированные (легальные) свалки, которые не отвечают действующим санитарным нормам. Существующие в России свалки как правило не имеют проекта (за исключением новых полигонов, построенных после 2000 г.). На этих же санкционированных свалках происходит самовозгорание отходов, нет каких-либо систем мониторинга, нет как таковой инженерной защиты окружающей среды. Большинство свалок переполнено и подлежит закрытию [2]. На сегодняшний день в России проектируются новые полигоны, которые должны быть построены в соответствии с природоохранным законодательством.

Ежегодно в районах Омской области может накапливаться до 315 тыс. т ТБО [4]. В г. Омске для того, чтобы решить вопрос, связанный с размещением отходов, разрабатывается схема по организации системы сбора отходов, создание которой позволит построить мусороперерабатывающий комплекс, который должен перерабатывать около 1,2 млн т отходов. Для создания такого комплекса необходимо продумать отлаженную систему, принимая во внимание опыт зарубежных стран.

Список литературы

1. Биотопливо и его использование [Текст]: монография / В. М. Благодарный [и др.] – Барановичи: РИО БарГУ, 2012. – 316 с.
2. Чижилов, А. Г. Термохимическая конверсия органического сырья / А. Г. Чижилов, М. Ю. Росс, Ю. А. Кожевников (Под редакцией д-ра хим. наук, проф. Ю. М. Щекочихина) – М.: «Издательство Агрорус», 2012. – 245 с.
3. Кашкаров, А. П. Современные био-, бензо-, дизель-генераторы и другие полезные конструкции / А. П. Кашкаров – М.: ДМК Пресс, 2011. 136 с.
4. Постановление правительства Омской области от 19.08.2009 г. № 156 – п. «Об утверждении Схемы территориального планирования Омской области».
5. Рекомендации по расчету образования биогаза и выбору систем дегазации на полигонах захоронения твердых бытовых отходов. М.: Государственный комитет РФ по строительству и жилищно-коммунальному комплексу, 2003. – 28с.
6. E. Bietlot, S. Garzaniti, D. D’Or, C. Collart, 2013, «Assessment of the contribution of low emissive areas to the average global flux of biogas diffusing through landfill covers in Wallonia», Proceedings Sardinia 2013, Fourteenth international Waste Management and Landfill symposium S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy; 30 september - 4 October 2013.
7. Смагин, А. В. Газовая фаза почв / А. В. Смагин – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 301 с.

УДК 697.341

С. В. Глухов, М. В. Глухова

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОТЕЛЬНОЙ НА ВОЗОБНОВЛЯЕМОМ ТОПЛИВЕ (БЫТОВОМ МУСОРЕ) В СИСТЕМЕ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДА ОМСКА

Статья посвящена определению перспектив использования термической утилизации бытовых отходов в коммунальной теплоэнергетике крупного города. Был произведен анализ технико-экономических показателей существующих котельных в г. Омске, а также перспективной тепловой нагрузки вблизи данных теплоисточников. В результате, с учетом экологических нормативов были определены потенциальные площадки размещения перспективных котельных на возобновляемом топливе и их установленная мощность. На

основе обзора технологий преобразования бытового мусора в энергетическое топливо в статье рассчитана стоимость топлива с учетом транспортной доставки, произведен анализ капитальных затрат и себестоимости отпуска тепла. С учетом положения о расчете тарифа по методу «альтернативной котельной» была рассчитана себестоимость отпуска тепла и окупаемость проекта. Сделаны выводы о возможности использования данных технологий в коммунальной энергетике.

Наступивший 2017-й год в Российской Федерации объявлен указом Президента Российской Федерации «Годом экологии».

Сложная экологическая ситуация в нашей стране предопределила ужесточение проводимой государственной экологической политики и в частности в области обращения с отходами. По оценке профильных ведомств ежегодный объем образующегося в РФ мусора достигает 60 млн. т [1], причем на долю такого крупного города, как Омск приходится порядка 0,6 млн. т в год.

Традиционным способом использования отходов, является их захоронение на полигонах, однако с принятием «Концепции долгосрочного социально-экономического развития РФ на период до 2020 года» и «Основ государственной политики в области экологического развития РФ до 2030 года» в качестве основного способа обращения с отходами принята их утилизация, в т.ч. с внедрением новых эффективных технологий производства электрической и тепловой энергий. В настоящее время в регионах принимаются программы обращения с отходами, направленные на внедрение схем утилизации и раздельного сбора мусора.

В городе Омске вопрос утилизации отходов стоит особенно остро, поскольку на начало 2017-го года не принято решение о строительстве заводов по утилизации отходов. Вместе с тем последние два десятилетия на ряде областных форумов активно обсуждается возможность строительства мусоросжигающего завода.

Различными авторами указывается ряд негативных тенденций размещения данного объекта в Омской области в частности и в целом в городской среде (вблизи населенных пунктов), однако мировой опыт и результаты инженерно-экологической экспертизы подобных проектов в Московской области и Республике Татарстан говорят о том, что технологии очистки при сжигании и утилизации бытового мусора существуют и активно внедряются. Регламентируется возможность включения в схему теплоснабжения населенного пункта источника теплоснабжения на возобновляемом виде топлива и в последней редакции [2].

Вместе с тем, в литературе подчеркивается, что приемлемая себестоимость термической утилизации 1 тонны бытового мусора может быть достигнута только путем реализации тепловой энергии, как попутного продукта при внедрении технологии. С учетом этого предлагается провести анализ оптимального расположения площадки термической утилизации бытового мусора (или подготовленного топлива на его основе) с определением тепловой мощности установки, исходя из величины замещаемых мощностей (тепловых нагрузок), а также конкурентной стоимости 1 Гкал отпущенной тепловой энергии.

Решение данной задачи, можно представить, как совокупность решений ряда подзадач, к которым можно отнести:

1. Определение мощности перспективной котельной на возобновляемом топливе (бытовом мусоре) на территории г. Омска и площадки ее размещения;
2. Оценка стоимости производства 1 т у.т. подготовленного топлива;
3. Оценка капитальных затрат, стоимости производства тепловой энергии и окупаемости внедрения теплоисточника.

Решение данных подзадач взаимосвязано и представляет собой задачу оптимизации, т.к. увеличение мощности теплоисточника снижает удельные капитальные затраты, но при этом увеличивает себестоимость отпуска тепловой энергии из-за увеличения транспортного плеча доставки топливного сырья (бытового мусора).

1. Определение мощности перспективной котельной на возобновляемом топливе (бытовом мусоре) на территории г. Омска и площадки ее размещения.

Система теплоснабжения города Омска имеет высокую степень централизации с преимущественно комбинированной выработкой тепловой энергии. Однако значительная протяженность города по обоим берегам р. Иртыш и строительство районов комплексной застройки на городских окраинах, вдали от существующих ТЭЦ, в последнее время несколько снижают процент использования тепловой энергии выработанной в комбинированном цикле.

При выборе площадки размещения перспективной котельной авторами рассмотрены варианты нахождение поблизости теплоисточников, имеющих высокий износ основных фондов с одновременно высоким тарифом на подачу тепловой энергии и теплоносителя, а также перспективные микрорайоны, в которых согласно действующей схеме теплоснабжения г. Омска предлагается строительство блочно-модульных локальных котельных.

В результате анализа существующих теплоисточников на предмет их износа, территориального расположения и величины тарифа на отпускаемую

тепловую энергию было решено провести исследование возможности замещения существующих мощностей для теплоисточников представленных в табл. 1, на основе данных[3,4]

Таблица 1

Технико-экономические показатели источников тепловой энергии

Показатель	Наименование теплоисточника		
	котельная МП г. Омска «ТК»	котельная МП г. Омска «ТК»	котельная ООО «СМТ»Стройбетон»
Адрес	п. Крутая горка, ул. Российская, 4а	п. Береговой	ул. Байдукова, 25
Тариф на ТЭ, руб./Гкал	1650,75	1650,75	2107,55
Установленная мощность, Гкал/ч	29,07	27,08	28,38
Подключенная тепловая нагрузка, Гкал/ч	18,20	14,10	22,70*
Годовой отпуск тепла, Гкал	59 509	58 065	62 200*
Годовой расход усл. топлива, т у.т.	9 628	9 372	9 870*

* - данные приняты оценочно, из-за отсутствия в схеме теплоснабжения г. Омска.

Дополнительный анализ строительства в городе перспективных микрорайонов показал, что для обеспечения их тепловых нагрузок (на основе схемы теплоснабжения города) требуется ввод в эксплуатацию локальных газовых котельных (табл. 2).

Таблица 2

Показатели перспективной тепловой нагрузки в зоне действия котельной ООО «СМТ «Стройбетон».

№ п/п	Год ввода	Тепловая нагрузка, Гкал/ч			
		на отопление	на вентиляцию	на ГВС	суммарная
1	2017	0,867	0,257	0,043	1,156
2	2019	4,803	0,234	0,937	5,974
3	2020	4,871	1,520	0,757	7,148
4	2022	7,756	1,484	1,277	10,517
5	2023	0,611	0,183	0,030	0,824
6	2024	4,074	0	1,059	5,133
7	2025	12,729	2,139	2,745	17,613
За период до 2025 года		35,711	5,817	6,848	48,365

По каждому из представленных в табл. 1 был проведен анализ размещения площадки котельной на возобновляемом топливе (бытовом мусоре) с учетом требований [5] и розы ветров, предлагаемые места

размещения представлены на рис. 1-3.

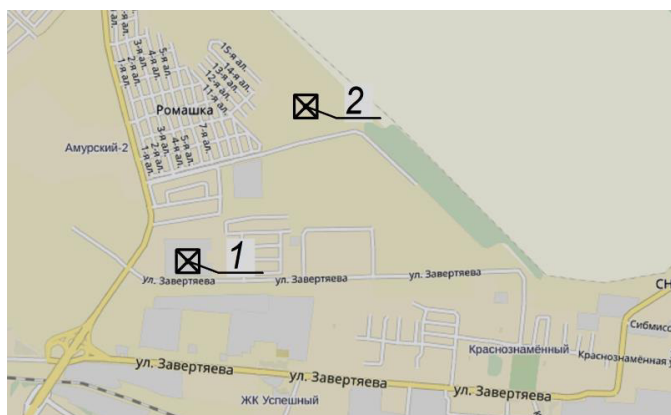


Рис. 1. Место расположения существующего (1) и перспективного (2) источника тепловой энергии по ул. Байдукова в г. Омске

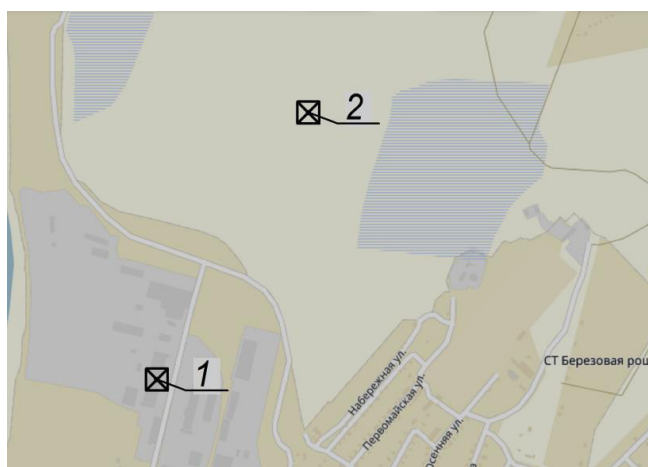


Рис. 2. Место расположения существующего (1) и перспективного (2) источника тепловой энергии в пос. Береговой.

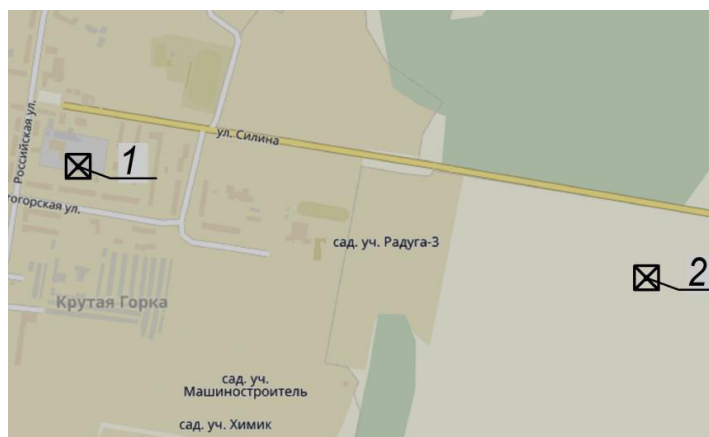


Рис. 3. Место расположения существующего (1) и перспективного (2) источника тепловой энергии в пос. Крутая горка

Для каждого из представленных мест расположения перспективных котельных было рассчитано «плечо доставки» подготовленного топлива из

места его предполагаемого получения Надеждинского полигона эксплуатируемого ООО «ЖКХ «Сервис», которое составило: для котельной по ул. Байдукова – 31 км, котельной пос. Береговой – 11 км, котельной пос. Крутая Горка – 23 км.

2. Оценка стоимости производства 1 т у.т. подготовленного топлива.

В качестве топлива для рассматриваемых перспективных котельных предлагается использовать топливо полученное из отходов (ТПО) (по международной классификации – RDF-топливо), имеющему низшую теплоту сгорания в пределах 4200-5200 ккал/кг с рабочей влажностью в пределах $W^p=7,0-25,5\%$ и зольностью $A^p=14,0-17,3\%$.

Текущие потребности трех рассматриваемых теплоисточников в топливе оцениваются на уровне 29 тыс. т у.т. с перспективной роста потребления до 40 тыс. т у.т.

Производительность линии по подготовке RDF-топлива с учетом коэффициента загрузки на уровне 0,8 потребления топлива в отопительном сезоне и готовности к работе в течение 300 дней в году оценивается на уровне 9 тонн/час.

Данная производительность может быть покрыта установкой полуавтоматической линией сортировки ТБО производительностью 35 т/ч по сырью, имеющих выход RDF-топлива на уровне 25% и вторсырья на уровне 15% с совокупной стоимостью строительно-монтажных работ на уровне 200 млн. руб и стоимостью линии сортировки на уровне – 370 млн руб [6].

При общем энергопотреблении завода на уровне 0,5-1,5 МВт с водопотреблением по химочищенной воде на уровне 70 куб.м/сут. и технической воды на уровне 50 куб.м/сут. себестоимость производства 1 т RDF-топлива в ценах 2015 года составляет 500 руб/т а отпускная цена на уровне 900-1100 руб/т.

Удельная стоимость транспортировки RDF-топлива составляет 3 руб/(т·км) [7, Прил. 4]. Таким образом, с учетом затрат на транспортировку стоимость 1 тонны подготовленного топлива составит: для котельной по ул. Байдукова – 1200 руб/т, котельной пос. Береговой – 1135 руб/т, котельной пос. Крутая горка – 1170 руб/т.

3. Оценка капитальных затрат, стоимости производства тепловой энергии и окупаемости внедрения теплоисточника.

На основе текущей и перспективной тепловой нагрузок рассматриваемых

теплоисточников (табл. 1,2), с учетом требований [8] и имеющихся потерь в тепловых сетях [3] был произведен анализ установленной мощности перспективных теплоисточников на ТБО, в результате получены следующие данные (табл. 3).

Таблица 3

Оценка установленной мощности перспективных котельных и капитальных затрат

№ п/п	Наименование перспективного теплоисточника	Установленная мощность, Гкал/ч	Годовое потребление RDF-топлива, т н.т.	Ожидаемые капзатраты, млн.руб
1	котельная в п. Крутая Горка	24	14 300	574
2	котельная в п. Береговой	20	13 800	556
3	котельная по ул. Байдукова	36	29 780	1197

Капитальные затраты получены на основе используемых в странах ЕС технологий утилизации бытовых отходов исходя из удельных капитальных затрат 670 долл/т н.т. в год.

Оценка предельного уровня стоимости тепловой энергии была произведена в соответствие с [9] и сведена в табл. 4.

Таблица 4

Расчет предельной стоимости тепловой энергии
по методу альтернативной котельной

Наименование составляющей предельного уровня цены	Наименование перспективного теплоисточника		
	котельная в п. Крутая Горка	котельная в п. Береговой	котельная по ул. Байдукова
1	2	3	4
- обеспечивающая компенсацию расходов на топливо, руб/Гкал	276,6	268,3	283,69
- обеспечивающая возврат капитальных затрат*, руб/Гкал	964,6	957,5	910,1
- обеспечивающая компенсацию расходов на уплату налогов, руб/Гкал	110,64	107,33	113,48

1	2	3	4
- обеспечивающая компенсацию прочих расходов, руб/Гкал	240,6	233,4	246,8
- обеспечивающая создание резерва по сомнительным долгам, руб/Гкал	39,3	38,1	40,3
Предельный уровень цены на тепловую энергию, руб/Гкал	1631,7	1604,7	1594,4
Разница с существующим тарифом, руб/Гкал	19,0	46,0	513,2
Срок окупаемости, лет	9,8	9,5	6,4

* - период возврата инвестиций принят в расчете 10 лет.

Таким образом, предельный уровень цены на тепловую энергию, выработанную перспективными котельными на возобновляемом топливе будет ниже, чем текущий тариф от рассматриваемых котельных, при сохранении которого окупаемость внедрения составит менее 10 лет.

Выводы.

1. Имеющиеся технологии подготовки топлива из бытового мусора позволяют осуществлять производство RDF-топлива с теплотой сгорания соизмеримой с бурыми углями по меньшей стоимости с учетом транспортной доставки;

2. Утвержденные тарифы на отпуск тепловой энергии отопительных котельных превышают предельный уровень стоимости тепловой энергии рассчитанной по методу альтернативной котельной для источника на RDF-топливе;

3. Замещение существующих теплоисточников котельными на RDF-топливе должно производиться только после проведения необходимой инженерно-экологической экспертизы.

Список литературы

1. Инфографика. Что мы выбрасываем // Вокруг света/ ООО «Издательство «Вокруг света». – 2012. - №7 (2862). С. 22 - 23.

2. Постановление Правительства РФ от 22 февраля 2012 г. № 154 «О требованиях к схемам теплоснабжения, порядку их разработки и утверждения» (с изменениями и дополнениями).

3. Схема теплоснабжения города Омска на период до 2030 года (актуализация на 2016 год).

4. Тарифы на коммунальные услуги по городу Омску на 2016 год [Электронный ресурс]. URL: <http://www.admomsk.ru/web/guest/progress/rates/people/info-2016> (дата обращения: 12.03.2017).

5. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 25.09.2007 N 74 «О введении в действие новой редакции санитарно-эпидемиологических правил и нормативов СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов» (с изменениями и дополнениями).

6. Кайгородов О. Н. «Переработка ТБО – сочетание многих технологий» / О. Н. Кайгородов // The Chemical Journal. 2015. № 1-2. с. 66-71.

7. Концепция создания мощностей по производству альтернативного топлива из твердых коммунальных отходов и его использования. Утверждено Постановлением Совета Министров Республики.

8. СП 89.13330.2012 «Котельные установки. Актуализированная редакция СНиП II-35-76» 99 с.

9. Проект постановления Правительства РФ «Об утверждении правил определения в ценовых зонах теплоснабжения предельного уровня цены на тепловую энергию (мощность), технико-экономических параметров работы котельных и тепловых сетей, используемых для расчета предельного уровня цены на тепловую энергию (мощность), включая правила индексации предельного уровня цены на тепловую энергию (мощность).

УДК 378.046

О. А. Козак

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ КОТЛОАГРЕГАТА ПРИ ЕГО ПЕРЕВОДЕ НА ГАЗОВОЕ ТОПЛИВО

Применение газового топлива в ряде промышленных предприятий способствует повышению производительности промышленных агрегатов. Природный газ обладает высокой теплотой сгорания и относительно низкой стоимостью, для его хранения нет необходимости в складских помещениях. Имея высокие экологические показатели по сравнению с другими видами топлива, природный газ все более востребован, особенно в связи с все возрастающими экологическими требованиями, которые тесно переплетаются с вопросами по энергосбережению, и ставят своей задачей снижение вредных выбросов.

Проведен анализ работы котлоагрегата на двух видах топлива. Расчет валовых выбросов показал, что при работе котлоагрегата на газе наблюдается отсутствие ряда выбросов, в том числе - твердых включений, монооксида углерода и диоксида серы, а так же уменьшение выбросов бенз (а)пирена и оксидов азота.

В 2012 году Министерством энергетики совместно с муниципальными образованиями и ОАО «Газпром» завершены основные этапы работы по корректировке Генеральной схемы газоснабжения и газификации Архангельской области. Эти мероприятия стали актуализацией ранее утвержденной целевой программы, которая была направлена на решение энергетических, экологических, экономических и социальных проблем региона за счет перевода предприятий и жилого сектора на природный газ. Природный газ имеет высокие экологические показатели по сравнению с другими видами топлива. Он обладает высокой теплотой сгорания и относительно низкой стоимостью, для его хранения нет необходимости в складских помещениях. Облегчение труда обслуживающего персонала, а так же возможность повышения коэффициента полезного действия (КПД) котлоагрегата представляют интерес для многих промышленных предприятий нашего региона. В результате сегодня мы имеем откорректированную схему газоснабжения и газификации Архангельской области с прогнозируемым сроком реализации до 2025 - 2030 гг. Уровень газификации при реализации генеральной схемы должен достигнуть 66 процентов, перспективный суммарный объем потребления может составить 5 млрд. м³ газа в год.

На балансе предприятия ОАО «Архангельский КоТЭК», входящего в состав проекта «Энергия Белого моря», имеется Котельная порта Экономия, ул. Капитана Хромцова 10, корп. 1. ОАО «Архангельский КоТЭК» создано для реализации проектов по реновации объектов теплоснабжения, повышения энергоэффективности, обеспечения бесперебойного и качественного снабжения потребителей г. Архангельска тепловой энергией. В котельной состоящей из пяти котлоагрегатов имеется два котла ДКВр-20-13. Работающим котлом является ДКВр-20-13 (№ 2). Данные котлоагрегаты двухбарабанные, вертикально-водотрубные с экранированной топочной камерой и развитым кипяtilьным пучком из гнутых труб [1]. Котлы этого типа применяются при работе на жидком, газообразном и твердом топливе. Вид используемых топочных устройств вносит определенные коррективы в компоновочные решения. На предприятии ОАО «Архангельский КоТЭК» котлоагрегаты этого типа работают на топочном мазуте марки М100.

Учитывая государственную политику в области энергосбережения и согласно Федерального закона об Энергосбережении в котором рекомендуется заменять имеющиеся в использовании мазут и уголь природным газом, а также в связи с большими ценами на мазут и целевой программой по газификации Архангельской области, интересно было произвести расчет котла и узнать технико-экономические характеристики при работе его на природном газе [2]. Этот вопрос интересен и с точки зрения все возрастающих экологических требований, которые тесно переплетаются с вопросами по энергосбережению, и ставят своей задачей снижение вредных выбросов. Цель реконструкции – перевод котлоагрегата ДКВр-20-13 на сжигание природного газа.

В связи с переводом котла на сжигание газообразного топлива предусматривается изготовление и монтаж следующих элементов котельной установки:

- строительство ГРП;
- прокладка газопроводов от ГРП до котлоагрегата;
- реконструкция главного корпуса котельного отделения с увеличением площади остекления;
- реконструкция помостов и лестниц;
- приведение систем защиты и автоматики к требованиям технических условий на выполнение технологических защит и блокировок при использовании природного газа в котельных установках в соответствии с требованиями взрывобезопасности;
- установка газомазутного горелочного устройства.

В ходе проведения оценки целесообразности перевода котлоагрегата ДКВр-20-13 на сжигание природного газа были:

- определены конструктивные характеристики котлоагрегата;
- произведены тепловые расчеты котлоагрегата на оба вида топлива [3, 4];
- выполнен расчет валовых выбросов вредных веществ при сжигании мазута и газа [5];
- даны рекомендации по выбору мероприятий по снижению выбросов вредных веществ;
- рассчитан экономический эффект перевода котла на сжигание природного газа;
- даны рекомендации по проведению консервации для предотвращения стояночной коррозии.

Сводные таблицы тепловых расчетов котлоагрегата при работе на мазуте и природном газе, приведены в табл. 1 и 2. В табл. 3 даны технико-экономические и экологические параметры.

Таблица 1

Сводная таблица теплового расчета котлоагрегата при работе на мазуте

Параметр	Обозначение	Размерность	Газоход				
			Топка	Фестон	Камера догорания	Котельный пучок	Экономайзер
Температура газов:							
- на входе	v	°C	-	1310,00	1210,00	1100,00	380,00
- на выходе	v	°C	1310,00	1210,00	1100,00	380,00	150,53
Тепловосприятие по балансу	Q_6	кДж/кг	13157,03	2185,03	2389,93	15129,08	4128,29
Температура теплоносителя:	-	-	-	-	-	-	-
- на входе	t	°C	-	191,60	191,60	191,60	103,00
- на выходе	t	°C	191,60	191,60	191,60	191,60	155,00
Скорость газов	ω_r	м/с	-	6,61	-	3,84	6,48
Скорость воды	ω_b	м/с	-	-	-	-	0,25
Температурный напор	Δt	°C	-	1067,62	962,35	457,69	114,15
Коэффициент теплопередачи	k	Вт/(м²·К)	-	103,22	-	30,68	33,40
Поверхность нагрева	$H_{расч}$	м²	26,17	7,0	15,96	385,62	305,28

Таблица 2

Сводная таблица теплового расчета котлоагрегата при работе на природном газе.

Параметр	Обозначение	Размерность	Газоход				
			Топка	Фестон	Камера догорания	Котельный пучок	Экономайзер
Температура газов:							
- на входе	v'	°C	-	1450,00	1350,00	1090,00	369,00
- на выходе	v''	°C	1450,00	1350,00	1090,00	369,00	110,40
Тепловосприятие по балансу	Q_6	кДж/кг	8284,57	2088,35	5337,34	14824,67	3609,99
Температура теплоносителя:	-						
- на входе	t'	°C	-	191,60	191,60	191,60	103,00
Скорость газов	ω_{Γ}	м/с	-	7,18	-	3,78	6,12
Скорость воды	$\omega_{\text{в}}$	м/с	-	-	-	-	0,25
Температурный напор	Δt	°C	-	1207,71	1022,90	444,46	61,41
Коэффициент теплопередачи	k	Вт/(м ² ·К)	-	95,17	-	34,02	62,64
Поверхность нагрева	$H_{\text{расч}}$	м ²	26,17	7,0	15,96	385,62	305,28

Технико-экономические и экологические параметры работы
котлоагрегата ДКВр-20-13

Наименование величины	Обозначение	Размерность	При сжигании		Снижение выбросов при работе котла на газе, %
			Мазута	Природного газа	
Потери теплоты с уходящими газами	q_2	%	6,82	4,86	-
Полный расход топлива	B	кг/с ($\text{м}^3/\text{с}$)	0,365	0,395	-
КПД брутто котла	$\eta_{\text{ка}}$	%	90,68	93,34	-
Выбросы золы	$M_{\text{ТВ}}$	г/с	0,041	0	100
Выбросы SO_x	M_{SO_x}	г/с	12,877	0	100
Выбросы CO	M_{CO}	г/с	11,122	0	100
Выбросы NO_x	M_{NO_x}	г/с	1,488	0,283	81
Концентрация бенз(а)пирена	$c_{\text{бп}}$	мкг/нм ³	0,210	0,05	76
Выбросы бенз(а)пирена	$M_{\text{бп}}$	мкг/с	0,294	0,065	78

Технико-экономический анализ и расчет валовых выбросов свидетельствуют о целесообразности перевода котлоагрегата с мазута на природный газ. Экологические параметры работы котла на газе показали, что стали отсутствовать выбросы твердых включений, монооксида углерода и диоксида серы, уменьшились выбросы бенз(а)пирена и оксидов азота.

Список литературы

1. Инструкция по устройству и эксплуатации, конструкция котла ДКВр-20-13. [Электронный ресурс]. URL: http://biek.ru/dkvr-20-13_23_gm. (Дата обращения: 07.03.2017).

2. Федеральный закон от 23 ноября 2009 г. N 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

3. Любов, В. К. Поверочный расчет котельных агрегатов. Учебное пособие. – 2-е изд., исп. и доп. [Текст] / В. К. Любов. – Архангельск: Изд-во Арханг. Гос. техн. ун-та, 2004. – 160 с.

4. Тепловой расчет котлов (Нормативный метод). – 3-е изд., перераб. и доп./ СПб. НПО ЦКТИ. 1998. – 256 с.

5. РД 34.02.305-98. Методика определения валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от котельных установок ТЭС – Введ. 1998-01-01. – разработ.

УДК 620.952

П. Н. Неупокоев

ТЕХНИКО – ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АСПЕКТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОТОПЛИВА

Проблема поиска альтернативных источников получения тепловой энергии в связи с истощением традиционных ресурсов становится все более актуальна. В РФ имеется большой потенциал местного топлива в виде отходов деревообрабатывающей промышленности и сельского хозяйства. В статье рассматриваются перспективы использования местных топлив на отопительных котельных.

Биотоплива, к которым относятся торф, отходы деревопереработки (щепа, опилки, стружка и др.) и переработки сельскохозяйственных культур (солома, шелуха семян подсолнечника, кукурузные початки и др.) в России используются явно недостаточно. Их доля в структуре топливно-энергетического баланса – не более 2 %.

По-прежнему основными видами топлива являются газ, уголь, продукты нефтепереработки и ядерное топливо. Но вышеперечисленные виды топлива не возобновляемы, а разведанных запасов хватит всего на несколько десятилетий. Поэтому, уже сегодня встает вопрос об альтернативных способах получения тепловой энергии. Использование таких альтернативных источников, как Солнце, ветер, морские приливы и отливы, течения рек, во-первых, технически

трудно осуществимо, во-вторых, не везде возможно и, в-третьих, требует значительных капитальных вложений.

Отсюда вывод, что на сегодняшний день наиболее рациональным является использование биологических видов топлива.

Использование биотоплива позволяет попутно решить еще одну весьма важную задачу – экологическую, поскольку в настоящее время большая часть отходов деревообработки не утилизируется и загрязняет окружающую среду.

В условиях истощаемости традиционных видов топлива, нарастающей выработки основных месторождений нефти и газа, и соответствующего роста цен на углеводородное топливо, использование местных видов биотоплива является актуальным не только с экологической, но и с технико-экономической точки зрения.

Основными побуждающими причинами использования местных топлив на современных биотопливных котельных являются:

- дешевизна и доступность поставки;
- новые рабочие места по заготовке, обработке и использованию биотоплива;
- охрана окружающей среды.

Основным источником биотоплива является лес. Сырьем для данного вида биотоплива являются: отходы лесозаготовок, части стволов деревьев, тонкомерные стволы, пни, отходы лесопиления (кора, опил), отходы деревопереработки (стружка, щепа) и др.

Основные характеристики древесного биотоплива приведены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики древесного биотоплива

Наименование топлива	Влажность, %	Содержание серы, %	Зольность, %	Теплота сгорания, МДж/кг
Щепа	30-50	0	0,8-1,5	9,0
Кора	45-55	>0,2	2-5	8,4
Пеллет	>10	0,1	1	19,0
Уголь*	>20	1-3	10-35	15-25

* Характеристики каменного угля приведены для сравнения.

Перед подачей в котельную сырье перерабатывается в доступное для автоматизированного сжигания топливо:

- дробленая щепа с размером фракции до 50х50х20 мм;
- опилки;
- кора;
- гранулы.

Основной причиной, сдерживающей широкое использование биотоплива, до последнего времени было отсутствие оборудования для его эффективного использования. Однако, когда были созданы котлы на биотопливе с высоким КПД, дело по-прежнему продвигается медленно, поскольку до последнего времени не была решена проблема механизации подачи топлива.

Проблему использования биотоплива необходимо решать системно, т.е. необходимо создать целый котельный комплекс со складом и механизированной системой подачи топлива в котел. По сути дела надо было создать комплекс конкурентный, по механизации и автоматизации работ, газовым и мазутным комплексам. Сейчас такой комплекс создан. Таким образом, последнее объективное препятствие на пути широкого применения биотоплива преодолено.

В комплекс могут входить котлы мощностью от 300 кВт до 5 МВт и механизированный модульный топливный склад с объемом 150-600 куб. м, работающий по принципу «живое дно» с гидравлической станцией.

Сейчас широкому использованию биотоплива препятствуют сложившиеся стереотипы о биотопливе как топливе второго сорта и, следовательно, его использование неэффективно. Преодолеть это мнение может информация о практическом использовании котельных на биотопливе и серьезная маркетинговая кампания в масштабах всей страны.

В будущем, в пользу применения биотоплива будет способствовать повышение тарифов на услуги ЖКХ в среднем на 10-15% в год вследствие роста цен на традиционное топливо.

Также необходимо знать границы применения биотопливных котельных. Очевидно, что применение котельных на биотопливе зависит в первую очередь от стабильных и долгосрочных поставок топлива. Каждая котельная должна быть «привязана» к соответствующему поставщику. Если речь идет об отходах деревообработки, то котельный комплекс должен быть расположен в относительной близости от деревообрабатывающего предприятия. Работа выбранного предприятия должна быть стабильной. Для снижения риска, помимо основного, надо иметь и страховых поставщиков, поскольку перебои с

топливом могут привести к дорогостоящим авариям. Расстояние доставки топлива не должно превышать 50-60 км. Транспортировка топлива при значительных расстояниях становится малоэффективной.

В районах, где отсутствуют деревообрабатывающие предприятия, для решения проблемы стабильных и долгосрочных поставок биотоплива, необходимо создание механизированного комплекса по его заготовке.

Если рассматривать отходы лесопромышленного комплекса как инструмент получения прибыли то наиболее рациональным в плане вложения капитала в биоэнергетику является не строительство новых котельных, а реконструкция уже имеющихся объектов. В этом случае значительную экономию можно получить не только в строительной части (закладка фундаментов, подводка коммуникаций и т.д.), но и при проектировании и защите проекта. Срок окупаемости нового проекта может превышать срок окупаемости затрат на реконструкцию в разы.

Список литературы

1. Использование древесной биомассы в энергетических целях : научный обзор [Текст] / С. П. Кундас [и др.]. – Минск : МГЭУ им А. Д. Сахарова, 2008. – 85 с.
2. Федеральный информационный фонд отечественных и иностранных каталогов промышленной продукции: [Электронный ресурс]. М., 2015-2017. URL: <http://промкаталог.рф>. (Дата обращения: 07.03.2017).

УДК 699.865

П. В. Петров, Е. М. Резанов, М. О. Тесля

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ЭКОНОМИЧНОСТИ УТЕПЛЕНИЯ ТЕПЛОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ НАРУЖНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ СТЕН ЗДАНИЙ

Разработан алгоритм и программное обеспечение для определения оптимальной толщины тепловой изоляции наружных ограждающих конструкций стен зданий. Проведены численные исследования теплового режима здания. Полученные результаты

подтверждают повышение эффективности теплового режима здания, снижается расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию, уменьшаются капитальные затраты.

Капитальный ремонт зданий в настоящее время невозможно представить без применения энергосберегающих мероприятий, отвечающих определенным стандартам. К таким мероприятиям относят использование теплоизолирующих современных строительных материалов, регулирующего оборудования, а также замену устаревших морально и физически систем.

Одним из требований сегодня, поставленным жилищным фондом, является сбережение тепловой энергии в зданиях. Данное требование отвечает Федеральному закону РФ № 399 «О внесении изменений в Федеральный закон «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности ...» от 28 декабря 2013 года. Результатом такой политики будет снижение единовременных затрат на капитальный ремонт зданий, а также потребляемых ими в будущем энергетических ресурсов.

В настоящее время к зданиям при капитальном ремонте предъявляют комплекс требований: приведенное сопротивление теплопередаче отдельных ограждающих конструкций должно быть не меньше нормируемых значений; температура на внутренних поверхностях ограждающих конструкций должна быть не ниже минимально допустимых значений; удельная теплозащитная характеристика здания должна быть не больше нормируемой.

Определяющим показателем энергетической эффективности и тепловой защиты зданий принят класс энергосбережения и удельный годовой расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию.

Одним из основных мероприятий повышения класса энергосбережения и снижения расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий является утепление тепловой изоляцией наружных ограждающих конструкций его стен, так как потери тепловой энергии через стены в общем балансе достигают 30 % и более [1].

Применение тепловой изоляции для утепления наружных ограждающих конструкций стен – основное мероприятие по повышению эффективности теплового режима зданий при капитальном ремонте. Однако это ведет к увеличению затрат на теплоизоляционные материалы, поэтому целесообразно определять оптимальную толщину утепления тепловой изоляцией ограждающих конструкций стен зданий.

Значение оптимальной толщины тепловой изоляции ограждающих конструкций стен здания можно найти исходя из минимума суммарных дисконтированных затрат по утеплению ограждающих конструкций стен здания и его толщины тепловой изоляции [2]:

$$\delta_{\text{ут}}^{\text{опт}} = \sqrt{\frac{86400 \cdot z_{\text{от}} \cdot \Pi_{\text{т}} \cdot \lambda_{\text{ут}} \cdot (\sum F_{\text{ст},i} \cdot (t_{\text{в},i} - t_{\text{н}}) \cdot n)}{r_0 \cdot \eta \cdot (E_{\text{ст}} + H_{\text{ст}}) \cdot \Pi_{\text{ут}} \cdot F_{\text{ут}}}} - R_{\text{уст}} \cdot \lambda_{\text{ут}}; \quad (1)$$

$$r_0 = \frac{1}{1 + (R_{\text{уст}} + (\delta_{\text{ут}}^{\text{опт}} / \lambda_{\text{ут}})) \cdot (\sum l_j \cdot \psi_j + \sum n_k \cdot \chi_k)}, \quad (2); \quad \eta = \frac{\sum F_{i,\text{ст}}}{\sum (F_{i,\text{ст}} / R_{\text{о,и}}^{\text{усл}}) \cdot (R_{\text{уст}} + (\delta_{\text{ут}}^{\text{опт}} / \lambda_{\text{ут}}))}, \quad (3);$$

$$R_{\text{уст}} = \frac{1}{\alpha_1} + ((\sum F_{i,\text{ст}}) / (\sum (F_{i,\text{ст}} / (\sum (\delta_i^{\text{уст}} / \lambda_i^{\text{уст}})))))) + \frac{1}{\alpha_2}, \quad (4); \quad R_{\text{о,и}}^{\text{усл}} = \frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta_i^{\text{уст}}}{\lambda_i^{\text{уст}}} + \frac{\delta_{\text{ут}}^{\text{опт}}}{\lambda_{\text{ут}}} + \frac{1}{\alpha_2}, \quad (5);$$

$$R_{\text{о,уст}}^{\text{пр}} = 1 / ((1 / R_{\text{о,уст}}^{\text{усл}}) + \sum l_j^{\text{уст}} \cdot \psi_j^{\text{уст}} + \sum n_k^{\text{уст}} \cdot \chi_k^{\text{уст}}), \quad (6); \quad R_{\text{о,уст}}^{\text{усл}} = (\sum F_i) / (\sum (F_i / (\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta_i^{\text{уст}}}{\lambda_i^{\text{уст}}} + \frac{1}{\alpha_2}))), \quad (7);$$

$$E_{\text{ст}} = r / (1 - \exp(-r \cdot T_{\text{ок}})), \quad (8); \quad T_{\text{ок}} = (\ln(1 + T_0 \cdot r)) / (\ln(1 + r)), \quad (9);$$

$$T_0 = \frac{(\Pi_{\text{ут}} \cdot \delta_{\text{ут}}^{\text{опт}} + \Pi_{\text{раб}}) \cdot F_{\text{ут}} \cdot (R_{\text{уст}} + (\delta_{\text{ут}}^{\text{опт}} / \lambda_{\text{ут}})) \cdot \eta \cdot r_0 \cdot R_{\text{о,уст}}^{\text{пр}}}{\Pi_{\text{т}} \cdot 86400 \cdot z_{\text{от}} \cdot (\sum F_{\text{ст},i} \cdot (t_{\text{в},i} - t_{\text{н}}) \cdot n) \cdot (R_{\text{уст}} + (\delta_{\text{ут}}^{\text{опт}} / \lambda_{\text{ут}})) \cdot \eta \cdot r_0 - R_{\text{о,уст}}^{\text{пр}}}, \quad (10)$$

$$H_{\text{ут}} = \frac{86400 \cdot z_{\text{от}} \cdot \Pi_{\text{т}} \cdot (\sum F_{\text{ст},i} \cdot (t_{\text{в},i} - t_{\text{н}}) \cdot n)}{r_0 \cdot (R_{\text{уст}} + (\delta_{\text{ут}}^{\text{опт}} / \lambda_{\text{ут}}))} + (\Pi_{\text{ут}} \cdot \delta_{\text{ут}}^{\text{опт}} + \Pi_{\text{раб}}) \cdot (E_{\text{ст}} + H_{\text{ст}}) \cdot F_{\text{ут}}, \quad (11)$$

где $\delta_{\text{ут}}^{\text{опт}}$ – оптимальная толщина утепляющего слоя тепловой изоляции ограждающих конструкции стен здания, м; r_0 – коэффициент теплотехнической однородности ограждающей конструкции после утепления, учитывающий влияние стыков, откосов проемов, обрамляющих ребер, гибких связей и других теплопроводных включений; η – коэффициент расхождения осредненности по площади условного сопротивления теплопередаче фрагмента теплозащитной оболочки стен здания, при утеплении его снаружи теплоизоляционным материалом; $\Pi_{\text{ут}}$ – стоимость 1 м³ утепляющего материала, р./м³; $E_{\text{ст}}$ – коэффициент эффективности инвестиций в утепление наружных ограждающих конструкций стен здания, 1/год; $H_{\text{ст}}$ – норма отчислений на амортизацию и ежегодное обслуживание ограждающих конструкций стен здания, 1/год; $R_{\text{уст}}$ – установленное сопротивление теплопередаче однородной ограждающей конструкции стен здания, (м²·°С)/Вт; $\lambda_{\text{ут}}$ – теплопроводность утепляющего слоя ограждающей конструкции стен здания, Вт/(м·°С); $\Pi_{\text{т}}$ – тариф на тепловую энергию, р./Дж; l_j

– протяженность линейной неоднородности j -го вида после утепления, приходящаяся на 1 м^2 фрагмента теплозащитной оболочки стен здания, $\text{м}/\text{м}^2$; ψ_j – удельные потери тепловой энергии через линейную неоднородность j -ого вида после утепления, $\text{Вт}/\text{м} \cdot ^\circ\text{C}$; n_k – количество точечных неоднородностей k -го вида после утепления, приходящихся на 1 м^2 фрагмента теплозащитной оболочки стен здания, $\text{шт.}/\text{м}^2$; χ_k – удельные потери тепловой энергии через точечную неоднородность k -го вида после утепления, $\text{Вт}/^\circ\text{C}$; $F_{i,\text{ст}}$ – площадь i -ой части фрагмента теплозащитной оболочки стен здания, м^2 ; $F_{\text{ут}}$ – общая площадь утепляющей теплозащитной оболочки стен здания, м^2 ; $R_{oi}^{\text{усл}}$ – условное сопротивление теплопередаче однородной части фрагмента теплозащитной оболочки стен здания i -го вида, после утепления его тепловой изоляцией, $(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$; r – норма дисконта; $T_{\text{ок}}$ – срок окупаемости, лет; α_1, α_2 – коэффициенты теплоотдачи внутренней и внешней поверхности ограждающих конструкций, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$; $\delta_i^{\text{уст}}$ – толщина i -го слоя установленной ограждающей конструкции, м ; $\lambda_i^{\text{уст}}$ – теплопроводность i -го слоя установленной ограждающей конструкции, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$; $t_{в,i}$ – расчетная температура внутреннего воздуха i -го помещения в здании, $^\circ\text{C}$; $t_n, z_{\text{от}}$ – расчетная температура наружного воздуха в холодный период года и продолжительность отопительного периода, $^\circ\text{C}$, сут/год; n – коэффициент, зависящий от положения наружной поверхности ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху; T_0 – бездисконтный срок окупаемости инвестиций за счет номинальной величины дохода, лет; $C_{\text{раб}}$ – стоимость 1 м^2 работ по утеплению ограждающих конструкций стен здания с учетом прочих расходов, $\text{р.}/\text{м}^2$; $R_{o,\text{уст}}^{\text{пр}}$ – установленное приведенное сопротивление теплопередаче фрагмента теплозащитной оболочки стен здания, $(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$; $R_{o,\text{уст}}^{\text{усл}}$ – осредненное по площади установленное условное сопротивление теплопередаче фрагмента теплозащитной оболочки стен здания, $(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$; $l_j^{\text{уст}}$ – протяженность линейной неоднородности j -го вида до утепления, приходящаяся на 1 м^2 фрагмента теплозащитной оболочки стен здания, $\text{м}/\text{м}^2$; $\Psi_j^{\text{уст}}$ – удельные потери тепловой энергии через линейную неоднородность j -ого вида до утепления, $\text{Вт}/\text{м} \cdot ^\circ\text{C}$; $n_k^{\text{уст}}$ – количество точечных неоднородностей k -го вида до утепления, приходящихся на 1 м^2 фрагмента теплозащитной оболочки стен здания, $\text{шт.}/\text{м}^2$; $\chi_k^{\text{уст}}$ – удельные потери тепловой энергии через точечную неоднородность k -го

вида до утепления, Вт/°С; $I_{ут}$ – приведенные дисконтированные затраты по утеплению ограждающих конструкций стен здания, р./год; $\Pi_{раб}$ – стоимость 1 м² работ по утеплению ограждающих конструкций стен здания, р./м².

Выражение для определения класса энергосбережения здания «КЭ» можно представить в виде [3], %:

$$КЭ = ((q_p - q_{от}^{тр}) / q_{от}^{тр}) \cdot 100, \quad (12)$$

где $q_{от}^{тр}$ – нормируемая удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания, Вт/(м³·°С); q_p – расчетная удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания, Вт/(м³·°С).

Результаты расчета использования предложенной разработки, применительно к утеплению стен и условиям эксплуатации жилого пятиэтажного панельного здания 1970 года постройки в городе Омске (отапливаемый объем 8200 м³, отапливаемая площадь 2545 м², существующий класс энергосбережения +16,1 % («D» пониженный), площади наружных стен: жилой части – 1182 м²; общественной части – 208 м²; общей утепляющей теплозащитной оболочки – 1390 м²; $R_{уст}=1,077$ (м²·°С)/Вт; $r_o=0,878$; $r=0,15$; $E_{ст}=0,186$ 1/год; $H_{ст}=0,011$ 1/год; $\Pi_{ут}=2200$ р./м³; $\Pi_{раб}=2800$ р./м²; $\Pi_r=3,583 \times 10^{-7}$ р./Дж;), показали: $\delta_{ут}^{опт}=0,12$ м; $I_{ут}=884000$ р./год; КЭ = -22,5 % («В» высокий).

При выборе стандартных параметров проектировщиками: $\delta_{ут}=0,1$ м ($I_{ут}=904000$ р./год; КЭ = -5,6 % («С+» нормальный)); $\delta_{ут}=0,15$ м ($I_{ут}=896000$ р./год; КЭ = -28,2 % («В» высокий).

Применение предложенной разработки, учитывающий расчет оптимальной толщины утепления тепловой изоляции стен здания, способствует уменьшению затрат при капитальном ремонте и повышению эффективности теплового режима здания, с учетом соблюдения нормативных требований класса энергосбережения.

Разработан алгоритм эффективного расчёта утепления наружных ограждающих конструкций стен здания при проведении капитального ремонта, с учетом нормативных документов по тепловой защите зданий и оптимальному обоснованию применяемых экономических решений.

Применение оптимизации обеспечивает нахождение наиболее выгодных технических решений, для достижения максимального технико-экономического эффекта при наименьших затратах.

Список литературы

1. Основные направления совершенствования тепловой работы зданий и сооружений при капитальном ремонте / П. В. Петров и др. // Энергетика и ЖКХ. – 2015. – № 3(34). – С. 30-33.
2. Методика эффективного расчета утепления наружных ограждающих конструкций стен зданий при проведении капитального ремонта / Е. М. Резанов и др. // Омский научный вестник. – 2016. – № 6(150). – С. 109-113.
3. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий (Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003). – Введ. 2013-07-01. – М.: ФАУ «ФЦС», 2012. – 96 с.

УДК 658.26: [681.5:004]

Ф. Р. Латыпов, А. М. Бикбулатов, Р. А. Каримов

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В ОТОПИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ МНОГОЭТАЖНЫХ ЖИЛЫХ ДОМОВ ПРИ АВТОМАТИЧЕСКОМ РЕГУЛИРОВАНИИ ПОДАЧИ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

Рассматриваются теоретические подходы к описанию динамики регулирования водяных систем отопления многоэтажных зданий, использующих 4-х канальный ПИ-регулятор при централизованной подводке теплоносителя. В интегрированной среде MATLAB синтезирована соответствующая модельная схема. Варьируя настроечными параметрами модельной схемы, выявляются оптимальные энергосберегающие режимы для подобного класса энергосистем, с учетом архитектурно-строительных и теплофизических параметров зданий. Итоговые результаты представлены в критериальном безразмерном виде.

Динамика процессов регулирования в водяных системах отопления была в первом приближении достаточно изучена Чистовичем С.А., Богословским В.Н., Туркиным В.П., Щелкуновым С.А. и другими авторами [1,2]. При этом вводились существенные упрощения: здание представлялось бесформенным однородным телом с одинаковой температурой во всех внутренних точках, выбирался установившийся процесс обогрева и т.д. При этом, часть параметров помечалась индексом *пр* (относящийся к отопительным приборам), а часть – индексом *пм* (помещение, здание) [2].

Для бесконечно малого промежутка времени уравнение нестационарного

теплового баланса нагревательного прибора отапливаемого помещения записывалось следующим образом [2]:

$$Q_1 dt = c_{np} m_{np} dT + k_{np} F_{np} (T_{np} - T_{nm}) dt, \quad (1)$$

где Q_1 – теплота, направленная на обогрев помещения и нагрев самого отопительного прибора, k_{np}, F_{np} – коэффициент теплопередачи отопительного прибора и площадь его активной поверхности, соответственно.

Когда расход тепловой энергии на нагрев массы прибора прекратится, вся подводимая теплоносителем тепловая энергия будет передаваться помещению:

$$Q_1 dt = k_{np} F_{np} \Delta T_{np.уст.} dt, \quad (2)$$

где $\Delta T_{np.уст.}$ – установившийся температурный напор на отопительном приборе.

Решая уравнения (1) и (2), разделяя переменные T и t и интегрируя, получается экспоненциальное уравнение нагрева отопительного прибора:

$$\Delta T = \Delta T_{np.уст.} \left(1 - e^{-\frac{t}{T_{np}}} \right), \quad (3)$$

где

$$T_{np} = \frac{c_{np} m_{np}}{k_{np} F_{np}}.$$

При учете коэффициента теплоотдачи ограждений здания $k_{зд}$, тепловой инерции внутри здания и изменяющейся температуры наружного воздуха T_n вблизи здания, уравнения нестационарного теплового баланса и теплопередачи получаются такими ([2], С.30):

$$-T_{\epsilon} + T_{np} \frac{dT_{\epsilon}}{dt} + T_{np} = \frac{1}{k_{онп} F_{np}} Q_1 \quad (4)$$

$$T_{зд} \frac{d[\Delta T_{\epsilon}(t)]}{dt} + \left(1 + \frac{k_{np} F_{np}}{k_{зд} F_{зд}} \right) T_{\epsilon}(t) - \frac{k_{np} F_{np}}{k_{зд} F_{зд}} T_{np}(t) = \Delta T_n, \quad (5)$$

где T_{ϵ} – температура воздуха внутри здания;

$$\Delta T_n = T_{\epsilon} - T_n.$$

Выполняя преобразования Лапласа для системы дифференциальных уравнений (4) и (5), заменяя переменную t на переменную Лапласа s , автор работы [2] получает ряд передаточных функций, характеризующих взаимодействие объектов: нагревательный прибор – воздух в помещении – ограждение здания и наружный воздух.

Между тем, рассмотренная система регулирования температуры T_{ϵ} в здании является разомкнутой. Автор работы [2] предлагает вариант решения,

когда система замыкается с помощью ПД-регулятора, имеющего коэффициент усиления k_Q .

Развивая указанные рассуждения и модельные построения, мы пошли в сторону усложнения теплогидродинамической модели, введя ещё ряд структурных элементов, в частности:

1) вместо ПД-регулятора ввели ПИ-регулятор с четырьмя каналами воздействия T_g, T_n, t_1 (температура теплоносителя на входе в дом при запитке от централизованной системы теплоснабжения), t_2 (температура на выходе из обратного трубопровода). Соответственно для ПИ-регулятора появились настроечные параметры – k (коэффициент усиления) и T_u (постоянная времени интегрирования);

2) ввели узел регулирования «приемистости» отопительной системы, задающей «крутизну» β восстановления температуры воздуха внутри здания в зависимости от температуры наружного воздуха T_n ;

3) электромагнитный клапан с ШИМ–управлением, насосную систему нагнетания и перепускную систему подготовки теплоносителя на входе в дом;

4) теплосчетчик, регистрирующий мгновенные значения подведенной теплоты Q к дому, с показаниями разности температур теплоносителя $\Delta t = t_1 - t_2$ на входе и выходе из дома, массовый расход теплоносителя m ;

5) само отапливаемое здание, на первом этапе приближения, интерпретировали апериодическим звеном I-го порядка, с характеристикой тепловой инерции, соответствующей кирпичному пятиэтажному зданию;

6) задатчик колебаний внешней температуры T_n и задатчик температуры T_g внутри дома.

На рис. 1 показана синтезированная нами модельная схема вышеописанной отопительной системы и самого обогреваемого здания в интегрированной среде MATLAB.

В верхнем левом углу схемы показан задатчик температуры T_g (в данном случае на схеме показано выставленное значение 22°C). Там же представлен узел регулирования «приемистости» отопительной системы (выставлено значение $\beta = 1,4$).

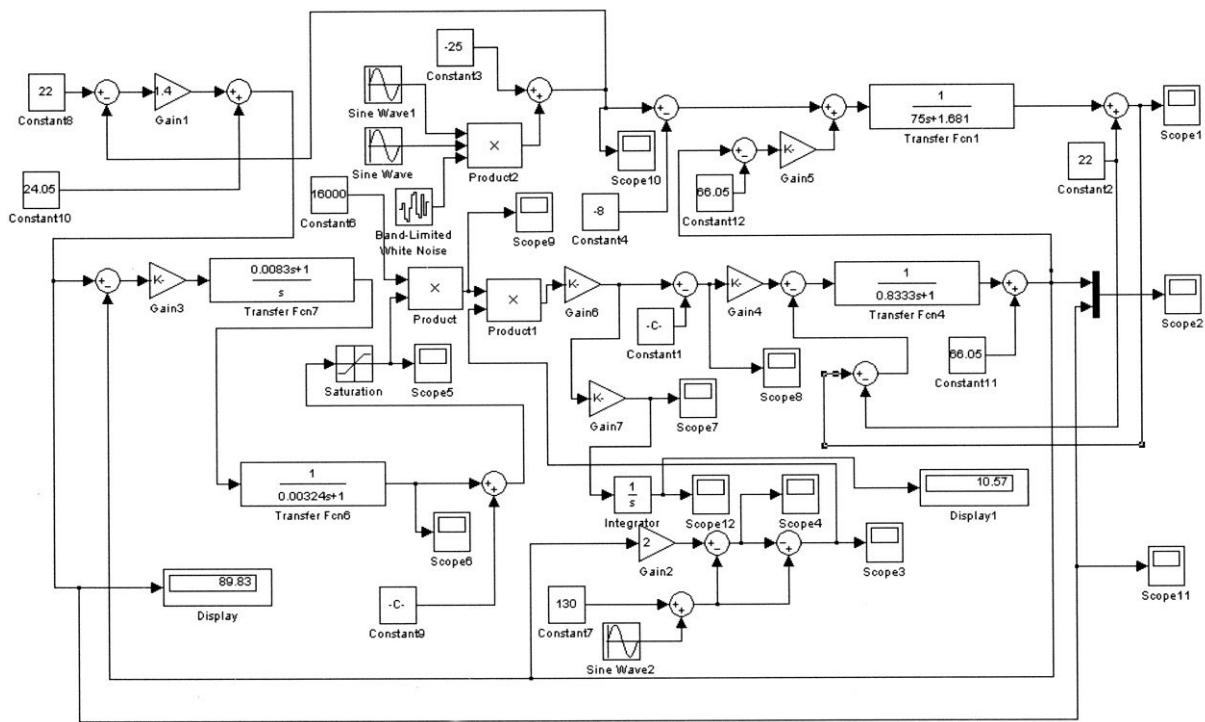


Рис. 1. Синтезированная модельная схема автоматизированной отопительной системы в интегрированной среде MATLAB

Сформированный в задатчике сигнал поступает в показанный ниже по схеме ПИ-регулятор, на котором выставлены исходные базовые параметры $k = 80$, $T_u = 30c$. Далее преобразованный сигнал по нижней линии схемы идет на сложение с выходным сигналом отопительной системы (Scope 2 и 11).

В середине верхней части схемы представлен утроенный задатчик колебаний температуры наружного воздуха T_n (Sine Wave 1, Sine Wave, Band Limited White Noise – задатчики случайных колебаний температуры).

В правом верхнем углу – теплоинерционное звено самого дома с передаточной функцией $1/75s+1,681$.

Ниже ПИ-регулятора присоединено звено, модулирующее открытие заслонки электромагнитного клапана ($1/0,00324s+1$), от которого сигнал поступает в сумматор *Product 1*, создавая необходимые пропорции для выравнивания баланса тепловых потоков отопительной системы (через расчётные значения показателей теплосчётчика $Q = c_p m(t_1 - t_2)$ и средней температуры отопительной системы $\frac{(t_1 + t_2)}{2}$).

Для наблюдения за работой схемы в различных режимах запланированы два цифровых дисплея *Display*, *Display 1* и ряд графопостроителей *Scope*. В

частности, указанные графопостроители дают развертку по времени t (в часах) следующих параметров:

Scope 1 – температуру в доме t_g ; *Scope 2* – заданную $t_{\text{задан}}$ и реальную $t_{\text{реальн}}$ температуры; *Scope 3* – разницу $(t_1 - t_2)$; *Scope 4* – температуру на обратном трубопроводе t_2 ; *Scope 5* – процент открытия (%) заслонки клапана; *Scope 6* – $\Delta\%$ отклонения открытия заслонки клапана относительно базового значения $t_n = -8^\circ\text{C}, m = 5100 \text{ кг/час}$; *Scope 7* – мгновенный расход Q подведенной через теплоноситель теплоты к зданию, по показателям теплосчетчика-интегратора в Гкал/час; *Scope 8* – отклонение ΔQ относительно базового значения 166 кВт; *Scope 9* – реальный массовый расход теплоносителя [кг/час] (при максимально допустимом значении 16000 кг/час); *Scope 10* – наружная температура воздуха t_n со всеми имитациями; *Scope 11* – дублирует *Scope 2* $\left(\frac{t_1 + t_2}{2}\right)$; *Scope 12* – $\sum Q$ за итоговые двое суток [Гкал].

В качестве прототипа модели был взят 80-ти квартирный пятиэтажный дом длиной 90 м и шириной 16 м по внешнему периметру, имеющий 4 подъездные двери, 296 окон (из них 64 окна балконные 2,1 x 1,34 м, 232 окна обыкновенные, размером 1,30 x 1,34). Коэффициент остекления дома $k_{\text{ост}} = 0,193$.

Средняя скорость ветра снаружи здания была принята равной $v_n = 4,5 \text{ м/с}$. Средний коэффициент теплоотдачи боковых стен, согласно рекомендациям Богословского В.Н. [4], был оценен по формуле:

$$\alpha_n = 5,8 + 11,6\sqrt{v_n} \approx 30 \text{ Вт/м}^2\text{К.} \quad (6)$$

С учётом этого, средний коэффициент теплоотдачи боковых стен модельного дома составил $k_{\text{б.с}} = 0,708 \text{ Вт/м}^2\text{К}$.

Чугунные отопительные приборы, согласно рекомендациям Сканава А.Н. ([5] С.152) и данным дома-прототипа, были заданы в среднем такими: $k_{\text{np}} = 8,30 \text{ Вт/м}^2\text{К}$, $F_{\text{np}} \approx 5000 \text{ Вт/К}$.

Постоянную интегрирования модельного дома T_u с учётом инфильтрации воздуха и среднего темпа остывания подобного типа здания приняли равной 75 часов. Передаточную функцию ПИ-регулятора, преобразовав, привели к такому виду:

$$R(s) = k \left(1 + \frac{1}{T_u s} \right) = \frac{k}{T_u} \left(\frac{T_u s + 1}{s} \right). \quad (7)$$

Ниже показаны некоторые результаты моделирования в MATLAB.

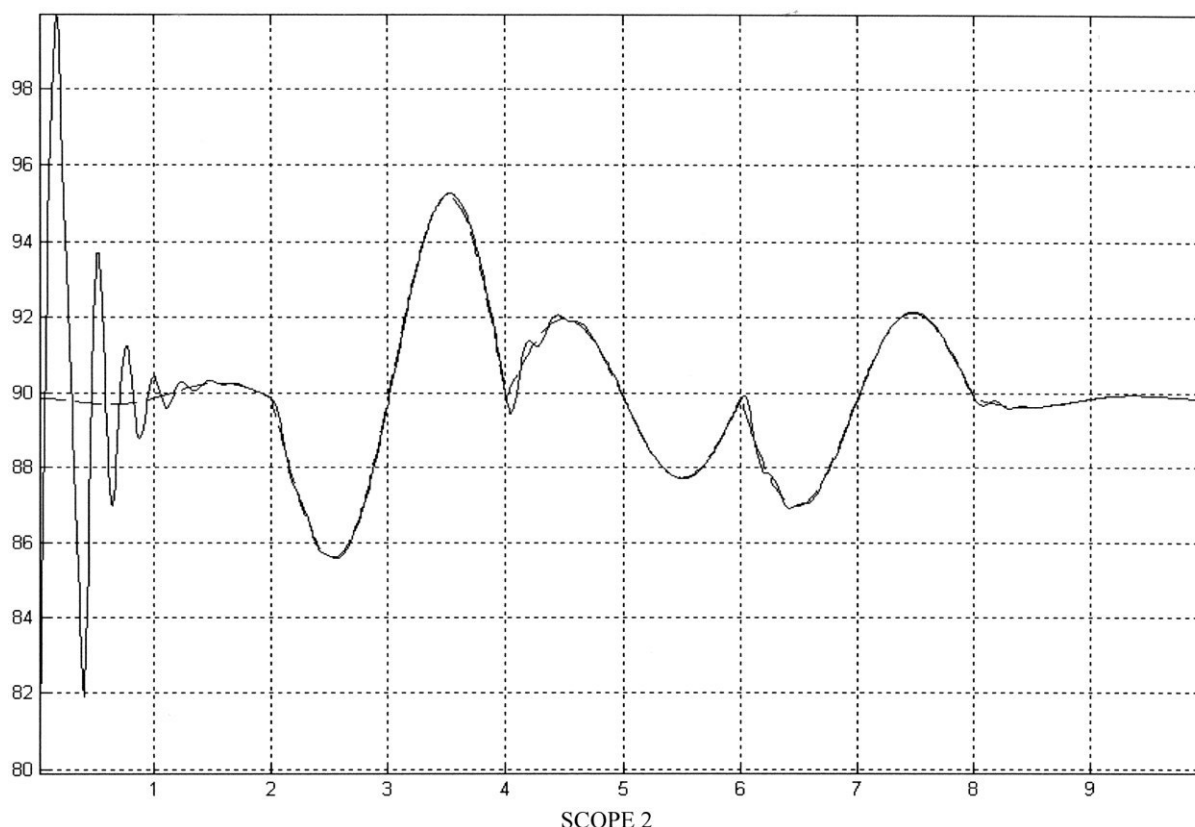


Рис. 2. График изменений средних значений потребной (пунктир) $(t_1+t_2)/2$ и выдерживаемой контроллером (сплошная линия) температур в модельном доме, при колебаниях температуры наружного воздуха и при заданном рассогласовании состояния отопительной системы

На рис. 2 представлен график, демонстрирующий хорошее совпадение средних значений температуры теплоносителя $\frac{(t_1+t_2)}{2}$ (пунктирная линия) и потребной температуры в модельном доме (сплошная линия) при кратковременном начальном рассогласовании состояния отопительной системы и текущих колебаниях температуры наружного воздуха t_n .

В ходе численного эксперимента менялись настройки системы:

$$k = 40 \div 999, T_u = 8,33 \div 156, \beta = 0,08 \div 2,4.$$

Кроме этого, изменялась и тепловая инерционность модельного дома, исходя из его строительно-архитектурных и теплофизических характеристик.

Как нами было установлено ранее [3], во всем многообразии влияющих на тепловой режим здания факторов, определяющим комплексом тепловой инерционности дома является модифицированный критерий подобия Померанцева P_{O_3} . Именно поэтому, далее мы искали оптимальные режимы настройки теплосберегающей автоматики в зависимости от этого критерия.

По итогам модельного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Синтезируемая модель демонстрирует хорошее качественное и количественное совпадение с опытными данными замеров в ряде пятиэтажных домов в г.Уфе, имеющих отопительную систему аналогичную модельной;

2. В проведенных модельных опытах выяснилось, что изменение настроечных параметров ПИ-регулятора (k и T_u) мало влияют на экономию тепловой энергии, идущей на отопление здания. Заметное влияние имеет «крутизна» β приемистости регулирующей системы. При правильном её подборе можно добиться дополнительно 14% экономии тепловой энергии. Функции же ПИ-регулятора состоят лишь в том, чтобы с тем или иным опозданием отслеживать изменения внешних условий и гасить тепловой дисбаланс в рамках механической инерционности открытия электромагнитного клапана.

3. Максимальная экономия тепловой энергии за счет внутренних структурных резервов модельной схемы может быть достигнута путём *оптимального* изменения всех настроечных параметров АС в соответствии с критерием подобия P_{O_3} , что позволит «дожать» экономию тепловой энергии до 18%.

Список литературы

1. Автоматизированные системы теплоснабжения и отопления [Текст] / С. А. Чистович, В. К. Аверьянов и др. – Л.: Стройиздат, 1987.

2. Туркин, В. П. Водяные системы отопления с автоматическим управлением для жилых и общественных зданий [Текст] / В. П. Туркин. – М.: Стройиздат, 1978.

3. Модифицированный критерий подобия Померанцева для анализа энергоэффективности автоматического теплоснабжения многоэтажных жилых домов [Текст] / Ф. Р. Латыпов, И. Р. Мамаев и др. //Матер. науч.-технич. конф. по энерго- и ресурсосбережениям. – Екатеринбург, 2005. – С.84 – 88.

4. Богословский, В. Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха): Учебник для вузов.– 2-е изд. [Текст] / В. Н. Богословский. – М.: Высшая школа, 1982.

5. Богословский, В. Н. Отопление: учеб. для вузов / В. Н. Богословский, А. Н. Сканапи. – М.: Стройиздат, 1991.

УДК 620.92

**ВНЕДРЕНИЕ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ
В ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ ДИРЕКЦИИ ПО ТЕПЛОВОДОСНАБЖЕНИЮ**

Сулима Андрей Александрович

Западно-Сибирская дирекция по тепловодоснабжению-структурное подразделение
Центральной дирекции по тепловодоснабжению-филиала ОАО «РЖД».

630003, г. Новосибирск, Владимировская, 21.

Начальник дирекции.

Тел. 8(383) 248-09-01

В данной работе проведен полный отчет по энергосберегающим мероприятиям на объектах Дирекции тепловодоснабжения Западно-Сибирской железной дороги, дана оценка экономической эффективности внедренных мероприятий, сформированы перспективные направления в экономии топлива и электроэнергии.

Ключевые слова: *стационарная теплоэнергетика, эффективность, котельная, теплообменник, тепловой пункт.*

**INTRODUCTION OF RESOURCE-SAVING TECHNOLOGIES
IN THE WEST SIBERIAN DIRECTORATE ON HEATWATER SUPPLY**

Sulima Andrey Aleksandrovich

West-Siberian Directorate of teplovodosnabzhenie-a structural subdivision of the Central
Directorate of teplovodosnabzhenie-a branch of JSC «Russian Railways».

630003, Novosibirsk, Vladimirovsky, 21.

The head of the Directorate.

Tel. 8(383) 248-09-01

In this paper we present a full report on energy saving measures on objects of the Directorate teplovodosnabzheniya-Siberian railway, and the estimation of economic efficiency of measures implemented, a promising direction in fuel economy and power.

Key words: *stationary power, efficiency, boiler, heat exchanger, heating unit.*

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАСХОДА ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОПЕРАЦИИ ПРЕДПРИЯТИЯМИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Финиченко Александра Юрьевна

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Теплоэнергетика», ОмГУПС.

Finichenko@mail.ru

Статья содержит системы расчетов удельных норм энергопотребления в структурных подразделениях железнодорожного транспорта, программ энергосбережения, снижения трудоёмкости расчёта удельных норм потребления тепловой энергии на технологические операции предлагается прогнозировать потребность в тепловой энергии на технологические операции, с целью выявления значимых характеристик деятельности предприятий (факторных признаков) и планирование на их основе потребления тепловой энергии на будущие периоды.

Ключевые слова: *тепловая энергия, нормы расхода тепловой энергии, корреляционно-регрессионный анализ, удельный расход энергии*

PREDICTION OF THE EXPENSE OF THERMAL ENERGY FOR TECHNOLOGICAL OPERATIONS OF RAILWAY TRANSPORT BY THE ENTERPRISES

Finichenko Aleksandra Yurievna

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

Ph. D. in Technical Sciences, Associate professor of «Теплоэнергетика»

Finichenko@mail.ru

Article contains systems of calculations of specific norms of energy consumption in structural divisions of railway transport, programs of energy saving, on technological operations the need for thermal energy on technological operations, for the purpose of detection of significant characteristics of activity of the enterprises (factor signs) and scheduling on their basis of consumption of thermal energy for future periods is offered to predict decrease in labor input of calculation of specific norms of consumption of thermal energy.

Key words: *thermal energy, consumption rates of thermal energy, correlative and regression analysis, specific consumption of energy.*

О РОЛИ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ В ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Черемисин Василий Титович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Доктор технических наук, профессор, директор НИИ энергосбережения на железнодорожном транспорте, зав. кафедрой «Подвижной состав электрических железных дорог», ОмГУПС

Тел.: (3812) 31-34-19.

E-mail: cheremisinv@gmail.com

Комяков Александр Анатольевич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Теоретическая электротехника», руководитель учебно-методического центра по энергосбережению и повышению энергетической эффективности

Тел.: (3812) 44-39-23

E-mail: tskom@mail.ru

Статья посвящена вопросу подготовки специалистов в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности в рамках концепции непрерывного образования.

Ключевые слова: энергоэффективность, энергосбережение, образование, повышение квалификации специалистов.

AUTOMATED ENERGY EFFICIENCY MONITORING SYSTEM OF MANUFACTURING PROCESSES ON RAILWAY TRANSPORT

Cheremisin Vasiliy Titovich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

Dr. Sci. Tech., professor, director of energy research Institute of railway transport, head of the department «Rolling stock electric railways», OSTU.

Phone: (3812) 31-34-19.

E-mail: cheremisinv@gmail.com

Aleksandr Komyakov

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

Ph. D. in Technical Sciences, the senior lecturer of chair «Theoretical the electrical engineer», Head of the Training and Methodological Center for Energy Saving and Energy Efficiency, OSTU.

Phone: (3812) 44-39-23

E-mail: tskom@mail.ru

The article is devoted to the training of specialists in the field of energy efficiency within the concept of lifelong learning.

Key words: Energy efficiency, energy saving, education, professional development of specialists.

УДК 621.311

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ПГУ С БИНАРНОСТЬЮ МЕНЬШЕ ЕДИНИЦЫ, РАБОТАЮЩИЕ ПО ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ СХЕМЕ

Синельников Денис Сергеевич

Новосибирский государственный технический университет.

630073, Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20.

Студент кафедры «Тепловых электрических станций».

Sinelnikovden@hotmail.com

Тел.: +7(383)346 11 42

Щинников Павел Александрович

Новосибирский государственный технический университет.

630073, Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20.

Доктор технических наук, профессор кафедры «Тепловых электрических станций».

shchinnikov@corp.nstu.ru

Тел.: +7(383)346 11 42

Григорьева Оксана Константиновна

Новосибирский государственный технический университет.

630073, Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20.

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Тепловых электрических станций».

o.grigoreva@corp.nstu.ru

Тел.: +7(383)346 11 42

В статье предлагаются схемы конденсационных и теплофикационных ПГУ с коэффициентом бинарности меньше единицы, работающие по параллельной схеме. Для теплофикационных ПГУ введен теплофикационный показатель, характеризующий отпуск теплоты установкой. Показаны особенности применения таких технологий.

Ключевые слова: ПГУ, бинарность, параллельная схема, теплофикационный показатель.

PERSPECTIVE CCGT WITH BINARY LESS THAN UNIT WORKING ON THE PARALLEL SCHEME

Sinelnikov Denis Sergeevich

Novosibirsk State Technical University

20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russia

Student.

Sinelnikovden@hotmail.com

Тел.: +7(383)346 11 42

Shchinnikov Pavel Aleksandrovich

Novosibirsk State Technical University

20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russia

Doctor of science, professor.

shchinnikov@corp.nstu.ru

Тел.: +7(383)346 11 42

Grigorieva Oksana Konstantinovna

Novosibirsk State Technical University

20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russia

Ph. D. in Technical Sciences, docent.

o.grigoreva@corp.nstu.ru

Тел.: +7(383)346 11 42

In the article¹, schemes of condensing and heating CCGT with a coefficient of binary less than unity, operating in a parallel scheme, are proposed. For heating cogeneration CCGT a heat index is introduced, characterizing the heat release by the installation. The features of the application of such technologies are shown.

Keywords: CCGT, binary, parallel scheme, heating index.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТОПЛИВОИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИСТОЧНИКА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЗА СЧЁТ ДОПОЛНЕНИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ (САР) ПАРОВОГО КОТЛА ОПЦИЕЙ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОДДЕРЖАНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО ИЗБЫТКА ВОЗДУХА С КОНТРОЛИРУЕМЫМ ХИМИЧЕСКИМ НЕДОЖОГОМ

Ибрагимов Евгений Самимович

ИАП ООО «Башкирская генерирующая компания»

450096, г. Уфа, ул. Комсомольская, д. 126, п. 2

Главный эксперт, кандидат технических наук

Ibragimov5757@mail.ru

Латыпов Руслан Занфирович

Затонская ТЭЦ ООО «Башкирская генерирующая компания»

450011, Уфимский район, пос. Михайловка, а/я-32

Главный инженер

Повышение эффективности работы котлов, при сравнительно незначительной величине капитальных вложений является актуальной задачей повышения энергоэффективности источника теплоснабжения. Одним из способов повышения эффективности работы котлов является повышение их КПД «брутто». Повышение КПД котлов «брутто» может быть обеспечено за счёт уменьшения избытка воздуха в режимном сечении котла до его оптимального значения. Оптимальный избыток воздуха на котле может быть найден исходя из обеспечения следующих критериев: обеспечения работы котла с минимально допустимым хим. недожогом, при котором скорость загрязнения поверхностей нагрева котла остаётся на допустимом уровне (хим. недожог определяется путём определения концентрации СО в дымовых газах) и обеспечения работы котла с избытком воздуха, меньшим критического (при критическом избытке воздуха происходит резкий рост хим. недожога при незначительном уменьшении избытка воздуха).

Необходимо отметить, что работа с минимальными избытками воздуха имеет достаточно существенный экономический эффект. Как показывают результаты контроля технического состояния энергетического парового котла ст. №14 Салаватской ТЭЦ типа ТГМ-151 оснащение системы автоматического регулирования котла дополнительной опцией поддержания оптимального избытка воздуха при контролируемой величине хим. недожога, соответствующей 30 ppm концентрации СО, при работе на газе обеспечило за год промышленной эксплуатации экономию топлива 94 тунт.

Ключевые слова: энергоэффективность, коэффициент полезного действия котла, оксид углерода, система автоматического регулирования котла.

IMPROVING THE EFFICIENCY OF FUEL CONSUMPTION OF THE HEAT SOURCE BY SUPPLEMENTING THE SYSTEM OF AUTOMATIC REGULATION (SAR) OF THE STEAM BOILER THE OPTION TO AUTOMATICALLY MAINTAIN AN OPTIMAL EXCESS AIR WITH A CONTROLLED CHEMICAL. UNDERBURNING

Ibragimov Evgeny Samimovich

IAP LLC Bashkirskaya generiruyushchaya kompaniya

450096, Ufa, Komsomolskaya St., 126, item 2

Chief expert, Ph. D. in Technical Sciences

Ibragimoves5757@mail.ru

Latypov Ruslan Zanfirovich

Zatonskaya of CHPP LLC Bashkirskaya generiruyushchaya kompaniya

450011, Ufa district, settlement of Mikhaylovka, a/ya-32

Chief engineer

The efficiency of boilers, with a relatively minor magnitude of capital investments is an urgent task of increasing the efficiency of heat supply source. One of the ways to improve the efficiency of boilers is the increase of efficiency «gross». The increase of efficiency «gross» can be achieved by reducing the excess air in the mode section of the boiler to its optimum value. The optimal excess air in the boiler can be found on the basis of the following criteria: ensure the operation of the boiler with the minimum chemical. underburning in which the rate of contamination of the heating surfaces of the boiler remains at an acceptable level (chem. underburning is determined by determining the concentration of carbon monoxide in flue gases) and ensure boiler operation with excess air less than critical (when critical excess air there is a sharp increase the chemical. underburning with little reduction of excess air). It should be noted that the minimum excess air has a significant enough economic effect. As the results of technical inspection of the energy steam boiler number 14 Salavatskaya CHP type TGM-151 the system of automatic regulation of the boiler an additional option to maintain an optimal excess air at a controlled value of chemical. underburning corresponding to the 30 ppm concentration, when working on gas provided for the year of industrial operation, fuel economy 94 tons of conditional fuel.

Key words: energy efficiency, efficiency of the boiler, carbon monoxide, the system of automatic regulation of the boiler.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТОПЛИВОИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИСПЕРСНЫХ ТОПЛИВНЫХ СИСТЕМ

Флек Екатерина Сергеевна

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

аспирант кафедры «Теплоэнергетика», ОмГУПС.

тел. +7 (3812) 31-06-23.

Ведрученко Виктор Родионович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Доктор технических наук, профессор кафедры «Теплоэнергетика», ОмГУПС.

тел. +7 (3812) 31-06-23.

Рассмотрены основные виды дисперсных топливных систем: водотопливные эмульсии и топливные суспензии. Предложена классификация дисперсных топливных систем по основным параметрам.

Ключевые слова: дисперсная топливная система, водотопливная эмульсия, топливная суспензия, водоугольная суспензия, классификация

ABOUT INCREASE OF EFFICIENCY OF FUEL USE OF THERMAL POWER PLANTS USING OF DISPERSED FUEL SYSTEM

Flek Ekaterina Sergeevna

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

Graduate student (full-time) in the Department «Heat power engineering».

Tel. +7 (3812) 31-06-23.

Vedruchenko Victor Rodionovich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

Doctor of technical Sciences, Professor (Russia), Professor in the Department «Heat power engineering».

Tel. +7 (3812) 31-06-23.

In the article presents main types of dispersed fuel systems: water-fuel emulsion and the fuel slurry. The classification of dispersed fuel systems at the main parameters are proposed.

Key words: *dispersed fuel system, water-fuel emulsion, the fuel slurry, coal-water slurry, classification.*

УДК 697.34

ВНЕДРЕНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ МЕРОПРИЯТИЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РЕМОНТА ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ АО «ОМСК РТС»

В статье приведены основные мероприятия по энергосбережению, реализованные в тепловых сетях АО «Омск РТС» в процессе проведения ремонтных работ. Мероприятия направлены на снижение потерь тепловой энергии и теплоносителя. Указаны основные причины возникновения сверхнормативных потерь тепловой энергии в тепловых сетях. Приведены основные результаты, полученные при внедрении мероприятий

Ключевые слова: *тепловые сети, энергосбережение, потери тепловой энергии, тепловая изоляция, ремонт*

Дмитриев Владимир Зиновьевич

АО «Омск РТС».

644048, г. Омск, ул. Братская, 3а.

Генеральный директор АО «Омск РТС», кандидат технических наук

Телефон/факс (3812) 944-151

Жуков Денис Владимирович

АО «Омск РТС»

644048, г. Омск, ул. Братская, 3а.

Заместитель технического директора структурного подразделения «Тепловые сети»,
кандидат технических наук

Телефон/факс (3812) 944-151, (3812) 41-92-31

E-mail для переписки zhukovdv@omskrts.ru

IMPLEMENTATION ENERGY SAVING MEASURES FOR REPAIRS IN HEAT NETWORKS JSC «OMSK RTS»

Dmitriyev Vladimir Zinovyevich

JSC Omsk RTS organization.

644048, Omsk, Bratskaya St., 3a.

CEO of JSC Omsk RTS, Ph. D. in Technical Sciences

Phone/fax (3812) 944-151

Zhukov Denis Vladimirovich

JSC Omsk RTS organization.

644048, Omsk, Bratskaya St., 3a.

Deputy technical director of structural division «Thermal networks», Ph. D. in Technical Sciences

Phone/fax (3812) 944-151, (3812) 41-92-31

E-mail for correspondence of zhukovdv@omskrts.ru

The article describes the main energy conservation measures that were performed in heat networks of JSC «Omsk RTS» in renovations over the past few years. The main causes of increased losses of thermal energy in heat networks is analyzed. Ways of their reduction are shown. The main results were obtained by implementation of energy saving measures is presented.

Key words: *heat networks, energy saving, heat losses, thermal insulation, repair*

УДК 697.34

ВЛИЯНИЕ ДИАМЕТРА ТРУБОПРОВОДОВ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ НА ИХ НАДЕЖНОСТЬ

Чичерин Станислав Викторович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

аспирант кафедры «Теплоэнергетика», ОмГУПС.

Лебедев Виталий Матвеевич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

доктор технических наук, профессор кафедры «Теплоэнергетика», ОмГУПС.

Глухов Сергей Витальевич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

кандидат технических наук, доцент кафедры «Теплоэнергетика», ОмГУПС.

Работа по анализу ремонтно-эксплуатационного порядка деятельности теплоснабжающих организаций крупных городов РФ, начатая с попытки выявить зависимость параметра потока отказов от диаметра трубопровода, должна быть проведена с целью классификации дефектов, создании базы данных по повреждаемости оборудования систем централизованного теплоснабжения и последующей разработки мер по сокращению последствий повреждений. Показаны направления продолжения работы. На

основании обработки данных регистрации повреждений в течение четырех отопительных периодов магистральных тепловых сетей систем централизованного теплоснабжения г. Омска было произведено опровержение существующих ложных представлений о наличии зависимости параметра потока отказов от диаметра трубопровода. Научно обоснованное подтверждение отсутствия такой зависимости позволяет отказаться от дальнейших попыток ее поиска инженерно-техническим персоналом организаций, эксплуатирующих тепловые сети, и сосредоточить совместные усилия на других задачах.

Ключевые слова: *теплоснабжение, тепловые сети, трубопровод, надежность, безотказность, долговечность, ремонтпригодность, сохраняемость, диаметр, повреждение, отказ, авария, параметр потока отказов.*

THE IMPACT OF PIPE DIMENSION ON THE RELIABILITY OF THE DISTRICT HEATING SYSTEMS

Chicherin Stanislav Viktorovich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

Post-graduate student Department «Thermal Engineering».

Lebedev Vitaliy Matveevich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

Doctor of science, professor Department «Thermal Engineering».

Glukhov Sergey Vitalievich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

Ph. D. in Technical Sciences, assistant of professor Department «Thermal Engineering».

The heat-supply companies' repair and maintenance operation of the large cities in the Russian Federation research started with a detection of failure intensity dependence on the piping's dimension effort should be done in order to classify incidents, constitute district heating elements damage database and subsequent option development to reduce failure after-effect. The failure intensity dependence on the piping's dimension prejudice was negated through processing of Omsk city heat transmission pipelines failure registration data for the fourth-year period. The evidence-based proof of no correlation let heat service companies' staff not to try to seek it and put a collective effort into the other tasks.

Key words: *district heating, distribution, pipeline, reliability, dependability, failure-free operation, durability, maintainability, storability, dimension, diameter, failure, incident, accident, failure intensity.*

ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНИКО – ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ ОТ ТЕПЛОИСТОЧНИКА КАРАГАНДИНСКОЙ ТЭЦ-3

Агильбаева Мереке Жанатовна

Карагандинский государственный технический университет.

РК 100027, г. Караганда, Бульвар Мира 56.

Преподаватель Карагандинского государственного технического университета.

E-mail: mereke_2006@mail.ru

В статье приведены данные системы теплоснабжения от теплоисточника – Карагандинской ТЭЦ-3

Ключевые слова: *теплоэлектроцентральный, тепловые сети, энергосбережение.*

INCREASE OF ECONOMIC EFFICIENCY OF HEAT NETWORKS FROM THE HEAT SOURCE THE KARAGANDA THERMAL STATION

Agilbayeva Mereke

Karaganda state technical university.

RK 100027, Karaganda, Boulevard of Peace 56

Teacher Karaganda state technical university.

E-mail: mereke_2006@mail.ru

In article presents data of the heat supply system from the heat source Karaganda thermal station.

Key words: *Cogeneration plant, heating network, energy saving.*

МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ППУ ИЗОЛЯЦИИ

Семенов Артур Дмитриевич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Студент группы 35Т, ОмГУПС.

E-mail: arturich.19@mail.ru

Представлена история происхождения пенополиуретана, его применения. Рассмотрены основные недостатки, выявленные при эксплуатации труб с применением

этой изоляции. На основе анализа, предложен метод повышения надежности пенополиуретановых труб.

Ключевые слова: *изоляция, потери, надежность, эффективность.*

METHOD OF INCREASE IN RELIABILITY OF PPU OF ISOLATION

Semenov Artur Dmitriyevich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

Student of group 35T, OSTU.

E-mail: arturich.19@mail.ru

History of an origin of polyurethane foam, its application is presented. The main shortcomings revealed at operation of pipes with application of this isolation are considered. On the basis of the analysis, the method of increase in reliability of polyurethane foam pipes is offered.

Keywords: *izolyatiya, losses, reliability, effektivnost.*

УКД 629.1

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЫРАБОТКИ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Гаак Виктор Климентьевич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Кандидат технических наук, профессор кафедры «Теплоэнергетика», ОмГУПС

E-mail: GaakVK@omgups.ru

Кокшаров Максим Валериевич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Старший преподаватель кафедры «Теплоэнергетика», ОмГУПС

E-mail: KoksharovMV@omgups.ru

В России ежегодно производится более 41 000 млн. Гкал тепловой энергии из них только 36% вырабатывается комбинированным способом. Для повышения эффективности выработки тепловой энергии в статье предложены 5 способов реконструкции предприятий, поставляющих тепло населению и промышленным предприятиям

Ключевые слова: *парогазовая установка, газотурбинная установка, теплоснабжение, топливо, себестоимость.*

METHODS OF INCREASING THE EFFICIENCY OF HEAT PRODUCTION IN MODERN CONDITIONS

Victor Gaak K.

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

Ph. D. in Technical Sciences , professor department «Thermal Engineering», OSTU.

E-mail: GaakVK@omgups.ru

Maxim Koksharov V.

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

Senior lecturer of the department «Thermal Engineering», OSTU.

E-mail: KoksharovMV@omgups.ru

In Russia annually produces more than 41,000 million Gcal of heat energy. The combined method is about 36% of the generated thermal energy. The article suggests five ways the reconstruction of the sources of thermal energy. The article the pros and cons of co-generation installations.

Key words: *combined cycle plant, gas turbine, heat supply, fuel cost.*

УДК 662.994

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ЭКОНОМИЧНОСТИ РАБОТЫ НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ С РАДИАЦИОННЫМИ ТРУБАМИ

Парамонов Александр Михайлович

Омский государственный технический университет (ОмГТУ).

Россия, город Омск, 644050, Проспект Мира, 11

Доктор технических наук, профессор кафедры «Теплоэнергетика», ОмГТУ.

E-mail: amparamonov@mail.ru

Резанов Евгений Михайлович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Теплоэнергетика», ОмГУПС.

E-mail: rezanov1@mail.ru

Разработан метод, алгоритм и программное обеспечение для определения

оптимальной температуры подогрева воздуха, идущего для горения топлива в радиационных трубах термической печи. Полученные результаты способствуют повышению эффективности работы термических печей, снижению удельного расход топлива и времени нагрева металла, повышению коэффициент полезного действия печи.

Ключевые слова: *топливо, оптимизация, температура, нагревательная печь, рекуператор.*

INCREASE OF ENERGY EFFICIENCY AND ECONOMICITY OF WORK OF HEATING OVENS WITH RADIATION PIPES

Paramonov Alexander Mikhailovich

Omsk State Technical University (OmSTU).

Russia, the city of Omsk, 644050, Prospect Mira, 11

Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department «Heat Power Engineering», OmSTU.

E-mail: amparamonov@mail.ru

Rezanov Evgeniy Mikhailovich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor of the Department «Heat Power Engineering», OSTU.

E-mail: rezanovel@mail.ru

A method, algorithm and software for determining the optimum heating temperature for the combustion of fuel in the radiation tubes of a thermal furnace is developed. The obtained results contribute to an increase in the efficiency of the operation of thermal furnaces, a decrease in the specific fuel consumption and the time of heating of the metal, and an increase in the efficiency of the furnace.

Key words: *fuel, optimization, temperature, heating furnace, recuperator.*

УДК 626.11

К ВОПРОСУ ЭФФЕКТИВНОГО ВЫБОРА РЕЗЕРВНОЙ СИСТЕМЫ ТОПЛИВОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ КОТЕЛЬНОЙ

Резанов Евгений Михайлович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Теплоэнергетика», ОмГУПС.

E-mail: rezanovel@mail.ru

Мотовилова Ольга Андреевна

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Магистр первого курса кафедры «Теплоэнергетика», ОмГУПС.

E-mail: olya.m.94@mail.ru

Мотовилова Татьяна Андреевна

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Бакалавр четвертого курса кафедры «Теплоэнергетика», ОмГУПС.

Представлено описание и проведен анализ использования топливных хозяйств для промышленной котельной Сургутского района России. Предложен эффективный выбор резервной системы топливоснабжения.

Ключевые слова: *топливо, схема, эксплуатация, котельная, система.*

TO THE QUESTION OF EFFECTIVE CHOICE OF THE RESERVOIR SYSTEM OF FUEL SUPPLY OF INDUSTRIAL BOILER

Rezanov Evgeniy Mikhailovich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor of the Department «Heat Power Engineering», OSTU.

E-mail: rezanov1@mail.ru

Motovilova Olga Andreevna

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

Master of the first year of the department «Heat power engineering», OSTU.

E-mail: olya.m.94@mail.ru

Motovilova Tatyana Andreevna

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

Bachelor of the fourth year of the chair «Heat power engineering», OSTU.

A description and analysis of the use of fuel facilities for the industrial boiler house of the Surgut district of Russia is presented. An efficient choice of a reserve fuel supply system is proposed.

Keywords: *fuel, scheme, operation, boiler room, system.*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОГО ТЕПЛА УХОДЯЩИХ ГАЗОВ В ВОДОГРЕЙНЫХ КОТЕЛЬНЫХ

Бачкова Вера Сергеевна

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Магистр второго курса кафедры «Теплоэнергетика», ОмГУПС.

E-mail: doc-ik@yandex.ru

Степанова Людмила Александровна

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Магистр второго курса кафедры «Теплоэнергетика», ОмГУПС.

E-mail: lidmula@inbox.ru

Рассмотрены преимущества и недостатки охладителей дымовых газов. Предложена оптимизация подогрева обратной сетевой воды за счет тепловой энергии уходящих дымовых газов из котельного агрегата.

Ключевые слова: *тепловая энергия, котел, утилизация, дымовые газы.*

USE OF LOW-POTENTIAL HEAT OUTPUT GASES IN HOT WATER BOILERS

Bachkova Vera Sergeevna

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

Master of the second year of the department «Heat power engineering», OSTU.

E-mail: doc-ik@yandex.ru

Stepanova Lyudmila Alexandrovna

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

Master of the second year of the department «Heat power engineering», OSTU.

E-mail: lidmula@inbox.ru

The advantages and disadvantages of flue gas coolers are considered. Optimization of heating of the reverse network water due to the body energy of the outgoing flue gases from the boiler unit is proposed.

Keywords: *thermal energy, boiler, utilization, flue gases.*

ПОИСК СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ ПУТЕМ ИХ КЛАССИФИКАЦИИ

Рацин Евгений Александрович

Омский государственный университет путей сообщения

644046, г. Омск, проспект Карла Маркса 35

Магистрант кафедры «Теплоэнергетика»

Zhenya_ratz@mail.ru

Тел.: 8-913-140-48-09

Стариков Александр Петрович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Теплоэнергетика», ОмГУПС.

Телефон: +7 (3812) 31-06-23

Статья посвящена вопросам классификации предприятий энергетики. Рассматриваются способы выделения их в обособленные группы и поиск взаимосвязей.

Ключевые слова: *тепловая энергия, электростанция, вид топлива*

SEARCH OF WAYS OF INCREASE OF EFFICIENCY OF THERMAL POWER PLANTS BY THEIR CLASSIFICATION

Racin Eugene Aleksandrovich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

Magister of the department «Heat power engineering», OSTU.

Tel. 8-913-140-48-09

Zhenya_ratz@mail.ru

Starikov Alexander Petrovich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

Ph. D. in Technical Sciences, head of the department «Heat power engineering», OSTU.

Tel. +7 (913) 972 35 83

omskstar2003@mail.ru

The article is devoted to the classification of the energy companies. Discusses how to allocate them in separate groups and finding relationships.

Key words: thermal energy, power plant, fuel

УДК 620.92

СИСТЕМА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ОТ ТТЭЦ-1 И ТТЭЦ-2 Г. ТЮМЕНИ

Арсентьева Снежана Анатольевна

Тюменский Индустриальный Университет.

Россия, город Тюмень, 625001, ул. Луначарского, 2.

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Промышленной теплоэнергетики».

E-mail: kpt@tgasu.ru

Антонова Елена Олеговна

Тюменский Индустриальный Университет.

Россия, город Тюмень, 625001, ул. Луначарского, 2.

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Промышленной теплоэнергетики».

В данной работе представлены расчет и подбор технических показателей, с помощью которых определяется оценка надежности систем теплоснабжения Тюменских ТТЭЦ-1 и ТТЭЦ-2.

Ключевые слова: *теплоснабжение, надежность*

HEAT SUPPLY SYSTEM FROM CHPP-1 AND CHP-2 IN TYUMEN

Arsentyeva Snezhana Anatolyevna

Tyumen Industrial University.

Russia, city of Tyumen, 625001, Lunacharsky St., 2.

Ph. D. in Technical Sciences, associate professor of «Industrial power system».

E-mail: kpt@tgasu.ru

Antonova Elena Olegovna

Tyumen Industrial University.

Russia, city of Tyumen, 625001, Lunacharsky St., 2

Ph. D. in Technical Sciences, associate professor of «Industrial power system».

In this paper we present calculation and selection of technical indicators that help to determine the reliability of heat supply systems of Tyumen TPS-1 and TTES-2.

Keywords: *heat supply, reliability*

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ И ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ В Г.ОМСКЕ

Бельская Татьяна Игоревна

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Аспирант кафедры «Теплоэнергетика», ОмГУПС.

E-mail: belskayati@gmail.com

В статье приведен анализ состояния системы централизованного теплоснабжения города Омска. Рассмотрены мероприятия по повышению уровня энергоэффективности на источниках, системах транспортировки и потребления тепловой энергии.

Ключевые слова: система центрального теплоснабжения, источники тепловой энергии, распределительные тепловые сети, потребители тепловой энергии, ИТП.

THE ANALYSIS AND INCREASE IN ENERGY EFFICIENCY OF THE CENTRALIZED SYSTEM OF HEAT SUPPLY IN OMSK

Belskaya Tatiana Igorevna

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

Post-graduate student of the department «Heat power engineering, OSTU.

E-mail: belskayati@gmail.com

The article analyzes the centralized system of heat supply in Omsk. The measures to increase the level of energy efficiency at sources, transporting systems and consumption of heat and power energy are considered.

Key words: centralized system of heat supply, heat and power energy source, distribution heat and power energy networks, heat energy consumers, ITP.

ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ И НЕОБХОДИМОСТИ УСТАНОВКИ ГЕНЕРИРУЮЩИХ МОЩНОСТЕЙ НА ТЭЦ-2 С ОЦЕНКОЙ КОНКУРЕНТНО- СПОСОБНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Филиппов Алексей Юрьевич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Студент четвертого курса кафедры «Теплоэнергетика», ОмГУПС.

В статье автором рассматривается вопрос применения теплофикационного оборудования на омской ТЭЦ-2. Дается комплексное сравнение различных установок с учетом особенностей и проблем на исследуемом объекте. Итогом работы является ряд предложений по развитию станции в режиме комбинированной выработки электроэнергии и тепла.

Ключевые слова: удельная выработка электроэнергии на тепловом потреблении, парогазовая установка, газотурбинная установка, паровая турбина, ТЭЦ-2.

JUSTIFICATION OF THE POSSIBILITY AND THE NEED TO INSTALL GENERATING CAPACITY IN CHP-2 WITH THE ASSESSMENT OF COMPETITIVE TECHNOLOGIES

Filippov Alexei

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

A fourth-year student of the Department «heat Power engineering», OSTU.

In this article the author discusses the issue of the use of cogeneration equipment for Omskaya CHP-2. A comprehensive comparison of different attitudes, taking into account features and problems on the object. The result is a number of proposals to develop the station in the mode of combined production of electricity and heat.

Key words: *specific power generation in thermal-consumption, combined cycle plant, gas turbine, steam turbine, CHP-2.*

УДК 662.994

К ВОПРОСУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОТЫ УХОДЯЩИХ ГАЗОВ КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТА НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Щебетова Кристина Андреевна

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Магистр первого курса кафедры «Теплоэнергетика», ОмГУПС.

E-mail: shebetova1994@mail.ru

Рассмотрена эффективность применения термомасляных котельных агрегатов. Предложена оптимизация температуры подогрева воздуха на выходе из рекуператора

котельного агрегата нефтехимического производства, с целью повышения эффективности его работы.

Ключевые слова: тепловая энергия, котел, утилизация, эффективность.

TO THE QUESTION OF USE OF UTILIZATION OF HEAT OF LEAVING GASES OF BOILER UNIT OF PETROCHEMICAL MANUFACTURE

Schebetova Kristina Andreevna

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

Master of the first year of the department «Heat power engineering», OSTU.

E-mail: shebetova1994@mail.ru

The efficiency of application of thermal oil boilers is considered. Optimization of the air heating temperature at the output from the recuperator of the boiler unit of petrochemical production is proposed to improve the efficiency of its operation.

Keywords: thermal energy, boiler, utilization, efficiency.

УДК.69.658.26

ПОВЫШЕНИЕ ТЕПЛОВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ В СУРОВЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Пиир Адольф Эдвардович

Северный Арктический Федеральный Университет им. Ломоносова.

163000 г. Архангельск, Набережная Северной Двины, 17.

Доктор технических наук, профессор кафедры теплоэнергетики и теплотехники.

E-mail: ado@piir.ru.

Козак Оксана Александровна

Северный Арктический Федеральный Университет им. Ломоносова.

163000 г. Архангельск, Набережная Северной Двины, 17.

Кандидат технических наук, доцент кафедры теплоэнергетики и теплотехники.

E-mail: oksana_kozak_2012@mail.ru.

Разработана упрощенная методика расчета нормативного коэффициента теплопередачи жилого здания и выполнены исследования по влиянию на суммарные теплопотери размеров здания, уровня теплоизоляции наружных ограждений и доли регенерации теплоты в системе вентиляции. Рассмотрены здания простой геометрической

формы («спичечный коробок») с числом этажей 1, 2, 4, 8, 16 жилой площадью от 100 до 25600 м² при уровне теплового сопротивления стен 1, 3, 5 м²°C/Вт и доли регенерации тепла вентиляционного потока воздуха 0; 0,5; 0,66. Результаты исследования показали, что при увеличении габаритов здания происходит резкая трансформация размеров и структуры наружных ограждений: доля площади перекрытий сокращается в три раза, доля площади стен увеличивается в два раза. В шесть раз сокращается доля площади поверхности наружной оболочки здания по сравнению с ее отапливаемой площадью. Отнесенный к отапливаемой площади средний коэффициент теплопередачи здания уменьшается в три раза. Показано, что для дальнейшего снижения нормативных теплопотерь жилых зданий наиболее эффективными путями являются:

1. Рекуперация теплоты в системе вентиляции и тем глубже, чем выше уровень теплозащиты, чем холоднее климат зоны сооружения здания.
2. Укрупнение размеров зданий за счет снижения их числа.
3. Сверхнормативное повышение теплозащиты малоквартирных зданий и коттеджей.
4. Кубическая форма 2 – 3 этажных зданий для Крайнего Севера.

Ключевые слова: рекуперация теплоты, снижение теплопотерь, жилые здания.

IMPROVING THERMAL EFFECTIVENESS OF RESIDENTIAL BUILDINGS IN HARSH WEATHER CONDITIONS

Piir Adolf Edvardovich

Northern Arctic Federal University of Lomonosov.

163000 g Arkhangelsk, Severnaya Dvina Embankment, 17.

Doctor of Engineering, professor of department of power system and heating engineers.

E-mail: ado@piir.ru.

Kozak Oksana Aleksandrovna

Northern Arctic Federal University of Lomonosov.

163000 Arkhangelsk, Northern Dvina embankment, 17.

Ph. D. in Technical Sciences, the associate professor of power system and heating engineers.

E-mail: oksana_kozak_2012@mail.ru

The simplified method of calculation of standard coefficient of a heat transfer of a residential building was developed. The researches of influence the sizes of the building, level of thermal insulation of external protections and a share of regeneration of warmth in system of ventilation on total heat losses were executed. Buildings of a simple geometrical form («matchbox») with number of floors 1, 2, 4, 8, 16 and living space from 100 up to 25600 sq.m were considered at the level of thermal resistance of walls 1, 3, 5 m² °C/W and shares of regeneration of heat of a ventilating stream of air 0; 0,5; 0,66. Results of research have shown that if the sizes of the building are increasing then there is a sharp transformation of the sizes and structure of external board: the

share of the area of overlapping is reducing in three times, the share of the area of walls is increasing in two times. The surface area of an external cover of the building is reducing in six times comparing with its heated area. The average coefficient of a heat transfer of the building carried to the heated area is decreasing in three times. It is shown that for further decrease in standard heat losses of residential buildings the most effective ways are:

- 1. Recovery of warmth in system of ventilation is deeper, if heat-shielding level is higher and the climate of a zone of a construction of the building is colder.*
- 2. Integration of the sizes of buildings due to decrease of their number.*
- 3. Excess strengthening of a heat shielding of low housing buildings and cottages.*
- 4. A cubic form 2 – 3 floor buildings for Far North.*

Keywords: *warmth recovery, decrease in heat losses, residential buildings.*

УДК 697.431

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ КОММУНАЛЬНЫХ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

Чуриков Дмитрий Андреевич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Аспирант кафедры «Теплоэнергетика», ОмГУПС.

Тел. +7 (913) 967 62 87.

mitya.churikov@gmail.com.

Стариков Александр Петрович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Теплоэнергетика», ОмГУПС.

Тел. +7 (913) 972 35 83.

omskstar2003@mail.ru.

В статье рассмотрены основные методы оценки эффективности коммунальных тепловых сетей, так же выделены их основные преимущества и недостатки. Обоснован выбор коэффициентов для мониторинга систем теплоснабжения. Предложен перечень основных решений по модернизации теплосетей на основе значений критериев.

Ключевые слова: *коммунальная теплоэнергетика, материальная характеристика, тепловые сети, энергетический менеджмент.*

AN EVALUATION OF ENERGY EFFICIENCY OF MUNICIPAL HEATING NETWORKS

Churikov Dmitry Andreevich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.
Postgraduate at the department «Heat power engineering», OSTU.
Tel. +7 (913) 967 62 87.
mitya.churikov@gmail.com.

Starikov Alexander Petrovich

Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.
Ph. D. in Technical Sciences, head of the department «Heat power engineering», OSTU.
Tel. +7 (913) 972 35 83
omskstar2003@mail.ru

In the article basic methods of efficiency evaluation of municipal heating networks are considered, main advantages and drawbacks of this methods are also highlighted. Selection of heat supplying enterprises monitoring coefficients is justified. List of main solutions for networks modernization based on parameters' values is suggested.

Keywords: *municipal heat energy, material characteristic, heating networks, energy managment.*

УДК 621.438

**ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ГРАФИКА НА ЭКОНОМИКУ ПРОИЗВОДИТЕЛЯ
ТЕПЛА И ЭКОНОМИКУ ПОТРЕБИТЕЛЯ**

Каргапольцев Павел Игоревич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).
644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.
Студент группы 35Т, ОмГУПС.
E-mail: pavelomsk93@gmail.com

В статье предоставлено описание и анализ существующих температурных графиков. Произведён примерный расчёт показателей при переходе с графика 150/70 на другие различные графики. На основе полученных данных выбран наиболее подходящий.

Ключевые слова: *температурный график, расход, сетевая вода, потребитель, тепловая сеть, подающий трубопровод.*

**INFLUENCE of the TEMPERATURE SCHEDULE on the ECONOMIES of the
PRODUCER CONSUMER ECONOMY AND HEAT**

Kargapolcev Pavel Igorevich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

The student of group 35T, OSTU.

E-mail: pavelomsk93@gmail.com

In the article describes and analyses of existing temperature graphs. Made a rough calculation of indicators when moving from 150/70 schedule at other various graphics. On the basis of the received data is selected the most suitable.

Keywords: *temperature graph water network consumption, consumer, heat supply pipeline network.*

УДК 621.311

ЗАВИСИМОСТЬ ТЕРМИЧЕСКОГО КПД КОМБИНИРОВАННОГО ЦИКЛА С ОТБОРОМ ПАРА ОТ НАЧАЛЬНЫХ И КОНЕЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧЕГО ТЕЛА

Овсянников Виталий Васильевич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Теплоэнергетика», ОмГУПС.

Тел.: (3812) 31-06-23.

E-mail: witaliy1936@yandex.ru

Гусаров Артем Сергеевич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Преподаватель кафедры «Теплоэнергетика», ОмГУПС.

Тел.: (3812) 31-06-23.

E-mail: henaro9812@gmail.com

Получены результаты расчета эффективности работы паротурбинной установки по комбинированному циклу, установлены зависимости термодинамической эффективности цикла от начальных и конечных параметров пара.

Ключевые слова: *комбинированный цикл, необратимость, паротурбинная установка, параметры пара.*

DEPENDENCE OF THE THERMAL EFFICIENCY OF THE COMBINED CYCLE WITH THE SELECTION OF STEAM FROM THE INITIAL AND FINAL PARAMETERS OF THE WORKING FLUID

Ovsyannikov Vitaliy Vasilevich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor of the department «Heat power engineering», OSTU.

Phone: (3812) 31-06-23.

E-mail: witaliy1936@yandex.ru

Gusarov Artem Sergeevich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, K. Marx av., Omsk, 644046, Russia.

Lecturer of the department «Heat power engineering», OSTU.

Phone: (3812) 31-06-23.

E-mail: henaro9812@gmail.com

The results of the calculation of efficiency of steam turbine unit using a combined cycle are obtained, the dependences of the thermodynamic efficiency of cycle on the initial and final parameters of the vapor.

Keywords: *combined cycle, irreversibility, steam turbine unit, parameters of the vapor.*

УДК 621.182

ОПТИМИЗАЦИЯ ВОДНО-ХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ.

Чаплак Анна Олеговна

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Магистр первого курса кафедры «Теплоэнергетика», ОмГУПС.

E-mail: anyufffa94@mail.ru

В статье предоставлены методы оптимизации водно-химического режима систем теплоснабжения на примере Омской ТЭЦ-5.

Ключевые слова: водно-химический режим, качество воды, подпиточная вода, ингибитор, накипеобразование, тепловая электростанция.

OPTIMIZATION OF WATER-CHEMICAL MODE OF HEATING SYSTEMS.

Chaplak Anna Olegovna

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

Master of the first course of the department «Heat power engineering», OSTU.

E-mail: anyufffa94@mail.ru

The article presents methods of optimization of water-chemical mode of heating systems on the example of Omsk CHP-5.

Keywords: water-chemical mode, quality of water, make-up water, inhibitor, scale formation, thermal power plant.

УДК: 62-135/-136; 62-15

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТУРБОМАШИН СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ БАЛАНСИРОВКИ РОТОРОВ

Вивденко Юрий Николаевич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Доктор технических наук, профессор кафедры «Теплоэнергетика», ОмГУПС.

E-mail: viv3636@mail.ru

Княжев Илья Николаевич

Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет, (СибАДИ).

Российская Федерация, г. Омск, 644080, пр. Мира 5.

Студент СибАДИ

E-mail: knjaz2222@mail.ru

Лазовский Сергей Вячеславович

Тюменский нефтегазовый университет.

Российская Федерация, г. Тюмень, 623015, ул. Республики 35.

Студент

E-mail: serco@mail.ru

В статье на основании обобщения известных методов балансировки узлов турбомашин и выполненных исследований предложена методика балансировки, при которой обеспечиваемый регламентируемый уровень колебаний ротора будет учитывать возможные возбуждаемые колебания лопаток и дисков.

Ключевые слова: турбомашинны, роторы, вибрационные колебания, балансировка.

INCREASE OPERATIONAL CHARACTERISTICS OF TURBOMASHES BY IMPROVING THE TECHNOLOGY OF ROTOR BALANCING

Vivdenko Yury Nikolaevich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department «Heat Power Engineering», OSTU.

E-mail: viv3636@mail.ru

Knyazhev Ilya Nikolayevich

Siberian State Automobile and Highway Academy.

Russian Federation, Omsk, 644080, 5 Mira Ave.

Student

E-mail: knjaz2222@mail.ru

Lazovsky Sergey Vyacheslavovich

Tyumen Oil and Gas University.

Russian Federation, Tyumen, 623015, ul. Of the Republic of 35

Student

E-mail: serco@mail.ru

In the article, based on the generalization of known methods for balancing the nodes of turbomachines and the studies carried out, a balancing technique has been proposed in which the provided regulated level of oscillations of the rotor will take into account possible excited oscillations of the blades and disks.

Keywords: turbomachines, rotors, vibration oscillations, balancing.

УДК 629.1

ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ТУРБОМАШИН КАК ФАКТОР ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ ПОТОКА

Вивденко Юрий Николаевич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Доктор технических наук, профессор кафедры «Теплоэнергетика», ОмГУПС.

Таминдаров Артем Равильевич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Студент, ОмГУПС.

E-mail: artem_tamindarov@mail.ru

В статье приведены закономерности влияния параметров шероховатости поверхностей проточной части турбомашин, на примере деталей газовых турбин на коэффициент сопротивления газового потока. Предложены условия обеспечения заданной шероховатости с применением абразивно-экструзионного полирования.

Ключевые слова: *параметры неровностей, проточная часть, сопротивление газового потока, абразивно-экструзионное полирование.*

ROUGHNESS OF SURFACES OF THE FLOWING PART OF TURBOMACHINES AS FACTOR OF LOSSES OF ENERGY OF THE STREAM

Vivdenko Yuriy Nikolaevich

Directive Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

doctor of technical sciences professor of the department «Heat Power Engineering», OSTU.

Tamindarov Artem Ravilyevich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

Student, OSTU

E-mail: artem_tamindarov@mail.ru

The article describes regularities of influence of parameters of a roughness surface of the flow part of turbomachines, for example gas turbine components by the ratio of the resistance of the gas flow. The proposed terms provide the desired roughness with the use of abrasive extrusion polishing.

Key words: *parameters of roughness, the flow passage resistance to gas flow of the abrasive-extrusion polishing.*

СНИЖЕНИЕ УТЕЧЕК В ПАРЕ «РОТОР-СТОТОР» ГАЗОВОЙ ТУРБИНЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УПЛОТНЕНИЙ

Витвицкий Анжей Александрович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Студент группы 35Т, ОмГУПС

E-mail: angey20.08@mail.ru, anzhey20.08@gmail.com

В статье результатам исследования, были предложены, обеспечивающие повышение эффективности рабочего процесса в газовых турбинах за счет применения лабиринтных уплотнений с заданными характеристиками между ротором и статором турбин.

Ключевые слова: турбина, уплотнения, лабиринт, дросселирование, утечки, плазменное напыление.

LEAKAGE REDUCTION IN THE ROTOR-STOOT PAIR OF THE GAS TURBINE PERFECTION OF SEALS

Vitvitskiy Anzhey Alexandrovich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

The student of group 35T, OSTU

E-mail: angey20.08@mail.ru, anzhey20.08@gmail.com

In the article, the results of the study were proposed to ensure an increase in the efficiency of the working process in gas turbines through the use of labyrinth seals with specified characteristics between the rotor and the stator of turbines.

Key words: turbine, seals, labyrinth, throttling, leakage, plasma spraying.

ВЫБОР КАТАЛИТИЧЕСКОГО ПОКРЫТИЯ ПОРШНЯ С УЧЁТОМ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА МАТЕРИАЛА

Литвинов Павел Васильевич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Аспирант кафедры «Теплоэнергетика», ОмГУПС.

E-mail: p_vasilich55@mail.ru

Брюхова Анна Сергеевна

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.,

Аспирант кафедры «Теоретическая электротехника», ОмГУПС.

E-mail: annaivan29@gmail.com

В статье рассмотрены различные варианты повышения экологической безопасности двигателей. Рассмотрены варианты применения поршней с каталитическим покрытием и способы создания и испытания поршней данного вида. Приведены данные спектрального анализа поршней, выбранных для дальнейших исследований. Показаны графики конверсии окиси углерода при различных каталитических покрытиях.

Ключевые слова: поршень, каталитическое покрытие, спектральный анализ, экологическая безопасность, вредные выбросы.

THE SELECTION OF THE CATALYTIC COATING ON THE PISTON IN VIEW OF THE SPECTRAL ANALYSIS OF THE MATERIAL

Litvinov Pavel Vasil'evich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

Postgraduate student of the department «Heat Power Engineerin», OSTU.

E-mail: p_vasilich55@mail.ru

Brjuhova Anna Sergeevna

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

Postgraduate student of department «Theoretical electrical engineering», OSTU.

E-mail: annaivan29@gmail.com

In this article we are produced a various options for improving the environmental safety of piston engines. We are produced the variants of the use of the pistons with a catalytic coating and the methods of creating and testing the pistons of this type. We are shown the data spectral analysis of the pistons, which we selected for further studies. We are shown the graphs of carbon monoxide conversion at various catalytic coating.

Keywords: piston, catalytic coating, spectral analysis, environmental safety, emissions.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСХОДА ИНИЦИИРУЮЩЕГО ТОПЛИВА ДЛЯ ТЕХНОЛОГИИ ТЕРМОПОДГОТОВКИ УГЛЯ В ЦИКЛОНАХ МАЛЫХ РАЗМЕРОВ

Щинников Павел Александрович

Новосибирский государственный технический университет

630073, Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20.

Доктор технических наук, профессор кафедры «Тепловые электрические станции».

shchinnikov@corp.nstu.ru

Тел.: +7(383)346 11 42

Синельников Денис Сергеевич

Новосибирский государственный технический университет

630073, Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20.

Студент кафедры «Тепловые электрические станции».

Sinelnikovden@hotmail.com

Тел.: +7(383)346 11 42

Францева Алина Алексеевна

Новосибирский государственный технический университет

630073, Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20.

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Тепловые электрические станции».

franceva@corp.nstu.ru

Тел.: +7(383)346 11 42

В статье предлагаются основные положения методики определения расхода иницирующего топлива при организации процессов термopодготовки угля в предтопке циклонного типа. На примерах расчетов термopодготовки некоторых углей показана работоспособность модели.

Ключевые слова: *методика, термopодготовка, циклоны, расход.*

METHODOLOGY FOR DETERMINING THE INITIATIVE FUEL CONSUMPTION FOR THERMOPHEALING TECHNOLOGY OF COAL IN CYCLONS OF SMALL SIZES

Shchinnikov Pavel Aleksandrovich

Novosibirsk State Technical University

20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russia

Doctor of science, professor.

shchinnikov@corp.nstu.ru

Тел.: +7(383)346 11 42

Sinelnikov Denis Sergeevich

Novosibirsk State Technical University
20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russia
Student.
Sinelnikovden@hotmail.com
Тел.: +7(383)346 11 42

Frantseva Alina Alekseevna

Novosibirsk State Technical University
20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russia
Candidate of Science, docent.
franceva@corp.nstu.ru
Тел.: +7(383)346 11 42

The article offers the basic provisions of methodology for determining the fuel consumption of initiating the organization of a thermal coal in the furnace extension process cyclone1. In some examples of calculations a thermal coal operation model shown.

Keywords: *methods, thermal preparation, cyclones, consumption.*

УДК 669.1.017:620.18:620.19

**ОБОСНОВАНИЕ ВНЕДРЕНИЯ СПОСОБА ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ,
ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕГО ПОВЫШЕНИЕ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ ТРУБ
ПОВЕРХНОСТЕЙ НАГРЕВА**

Помазова Анна Викторовна

ЗАО НДЦ НПФ «Русская лаборатория».
Россия, 644035, г. Омск, пр. Губкина, 7/8.
Начальник лаборатории разрушающего контроля.
E-mail: pomazova@yandex.ru

Заворин Александр Сергеевич

Национальный исследовательский Томский политехнический университет.
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.
Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой парогенераторостроения и парогенераторных установок Энергетического института.
E-mail: zavorin@tpu.ru

Внедрение современных цехов термической обработки, проводящих разработанный режим термообработки, на предприятиях Группы «Интер РАО» позволит обеспечивать теплогенерирующие предприятия трубами поверхностей нагрева с повышенными коррозионными свойствами. На примере компаний г.Омска оценено ресурсосбережение при использовании возможностей цеха термической обработки. Данные приведены в

соответствии с планируемыми заменами в 2016 г. Помимо рассчитанной экономии в 20-25% (15 млн рублей в год) за счет увеличения срока службы поверхностей нагрева, теплогенерирующие предприятия будут нести меньшие затраты вследствие отсутствия аварий, произошедших в результате наличия ухудшенных металлографических характеристик металла, а также за счет увеличения межремонтного периода.

Ключевые слова: Сталь 20, трубы поверхностей нагрева, цех термической обработки, ресурс котельных труб.

SUBSTANTIATION OF IMPLEMENTATION OF THERMAL PROCESSING METHOD FOR PROVIDING CORROSION RESISTANCE OF HEATING SURFACE PIPES

Anna V. Pomazova

Russian Laboratory Ltd. Research Examination Center.

7/8, Prospect Gubkin, Omsk, 644035, Russia.

E-mail: pomazova@yandex.ru.

Aleksandr S. Zavorin

National Research Tomsk Polytechnic University.

30, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia

The introduction of modern heat treatment plants that conduct the developed heat treatment mode at the enterprises of the Inter RAO Group will allow providing heating surfaces with pipes with heating surfaces with increased corrosion properties. On the example of companies in Omsk, resource-saving is assessed when using the possibilities of the heat treatment shop. The data are presented in accordance with the planned replacement in 2016. In addition to the estimated savings of 20-25% (15 million rubles per year) due to the increase in the service life of the heating surfaces, the heat generating enterprises will incur lower costs due to the absence of accidents resulting from the deteriorated metallographic characteristics of the metal, and also due to the increase in the overhaul period.

Keywords: *Steel 20, pipes of heating surfaces, heat treatment shop, resource of boiler pipes.*

УДК 621.311.22:543.423.1

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗМЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МИКРОСТРУКТУРЫ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ МЕТОДАМИ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА

Фомиченко Кирилл Игоревич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Студент, ОмГУПС.

E-mail: fomichenko.kiril@gmail.com

Кузнецов Андрей Альбертович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Теоретическая электротехника», ОмГУПС.

Тел: (3812)31-06-88

E-mail: kuznetsovaa@omgups.ru

Помазова Анна Викторовна

ЗАО НДЦ НПФ «Русская лаборатория»

644035, г. Омск, пр. Губкина, 7/8

Начальник лаборатории разрушающего контроля.

E-mail: pomazova@yandex.ru

В статье рассмотрено влияние размерных параметров микроструктуры стали 20 на аналитический сигнал атомно-эмиссионного спектрального анализа. Установлено, что интенсивности спектральных линий Mn, Fe, Si, являются чувствительными к изменению средней площади зерна. Применение спектрального анализа повысит эффективность ремонта тепловых сетей.

Ключевые слова: атомно-эмиссионный спектральный анализ, образцы с заданными свойствами, термообработка, структура материала, тепловые сети.

RESEARCH OF THE DIMENSIONAL MICROSTRUCTURE CHARACTERISTICS OF HEAT POWER ENGINEERING CONSTRUCTION MATERIALS BY SPECTRAL ANALYSIS METHODS

Fomichenko Kirill Igorevich.

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

Student, OSTU.

E-mail: fomichenko.kiril@gmail.com

Kuznetsov Andrey Albertovich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

Doctor of science, proffesor, head of the departament «Electrical Engineering», OSTU

Phone: (3812) 31- 06 – 88.

E-mail: kuznetsovaa@omgups.ru

Pomazova Anna Victorovna

Russian Laboratory Ltd. Research Examination Center.

Prospect Gubkina 7/8, Omsk

E-mail: pomazova@yandex.ru

In article is considered influence of steel 20 dimensional microstructure parameters to analytical signal of atomic emission spectroscopy analysis. It is established that intensity of Mn, Fe, Si spectral lines are sensitive to average grain area changes. The use of spectral analysis will increase the efficiency repair of heat networks.

Keywords: *Atomic emission spectral analysis, samples with given properties, heat treatment, material structure, heat networks.*

УДК 621.438

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ПРИМЕНЕНИЯ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ ОТРАБОТАВШИХ РЕСУРС АВИАЦИОННЫХ ГТД

Захарец Александр Владимирович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Студент группы 35Т, ОмГУПС.

E-mail: AVZakharets@yandex.ru

В данной статье проведено исследование, и установлены возможности использования ГТУ малой и средней мощности на базе авиационных ГТД, а также разработан алгоритм их перевода в стационарные энергетические ГТУ.

Ключевые слова: *газотурбинная установка, капитальный ремонт, доработка конструкции, газотурбинный двигатель.*

SOLVING THE PROBLEMS OF APPLICATION IN THE HEAT-POWER ENGINEERING OF THE DEVELOPED RESOURCES OF AERONAUTICAL GAS ENGINE

Zakharets Aleksandr Vladimirovitch

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

The student of group 35T, OSTU.

E-mail: AVZakharets@yandex.ru

In this article the study and the possibility of use of gas turbine installation of low and

medium power based on aircraft gas turbine engines, as well as the algorithm of translation in stationary energy gas turbine installation.

Keywords: *gas turbine installation, overhaul, construction modification, gas turbine engine.*

УДК 620.9

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ КОГЕНЕРАЦИИ ПО СХЕМЕ ГАЗОДИЗЕЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

Трошина Наталья Сергеевна

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Аспирант, кафедра «Теплоэнергетика». ОмГУПС

Телефон: +79620476444

E-mail: natalya.troshina@yandex.ru

Проведен сравнительный анализ существующих когенерационных энергоустановок на базе ДВС, газодизельного и газопоршневого двигателей. Сделаны выводы о рациональном применении когенерации по схеме газодизельной энергетической установки.

Ключевые слова: *когенерация, эффективность, газодизельный двигатель, ДВС, энергетическая установка, комбинированная выработка.*

THE USE OF THE COGENERATION PROCESS ACCORDING TO THE SCHEME OF GAS-DIESEL POWER PLANT

A comparative analysis of existing cogeneration power plants based on ICE, gas diesel and gas piston engines is carried out. Conclusions are drawn about the rational use of cogeneration according to the scheme of the gas-diesel power plant.

Troshina Natalia Sergeevna

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

Postgraduates of the department «Heat power engineering», OSTU.

Phone: +79620476444

E-mail: natalya.troshina@yandex.ru

Key words: *cogeneration, energy efficiency, gas piston engines is carried out, ICE, power plant, combined production.*

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОНАСОСНЫХ УСТАНОВОК НА ТЭЦ

Константинович Мария Юрьевна

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Магистр второго курса кафедры «Теплоэнергетика»

E-mail: mary.konstantinovich@gmail.com

В статье рассмотрены варианты применения теплонасосных установок на теплоэлектроцентралях. Предложены направления в этой области на примере Омской ТЭЦ-5.

Ключевые слова: *тепловая энергия, градирня, тепловой насос, эффективность, отопление, тепловая электростанция.*

PERSPECTIVES OF USING HEAT PUMPS ON CHP

Konstantinovich Mariya Yurevna

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

Master of the second year of the department «Heat power engineering», OSTU.

E-mail: mary.konstantinovich@gmail.com

In the article considers the options for the application of heat pump plants at thermal power plants. The directions in this area are offered on the example of Omsk CHP-5.

Keywords: *thermal energy, cooling tower, heat pump, efficiency, heating, CHP.*

СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ РЕГИОНА

Мои́ла Ольга Валерьевна

Тюменский Индустриальный Университет.

Россия, город Тюмень, 625001, ул. Луначарского, 2.

Студентка кафедры «Промышленной теплоэнергетики».

E-mail: zenitovna100112@mail.ru

Антонова Елена Олеговна

Тюменский Индустриальный Университет.

Россия, город Тюмень, 625001, ул. Луначарского, 2.

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Промышленной теплоэнергетики».

В данной статье проводится анализ современного состояния энергетики Крыма. На основе проведенного анализа рассматривается система теплоснабжения и ГВС детских оздоровительных лагерей «Мандарин», «Дельфин», «Бригантина», предложено систему теплоснабжения и ГВС разработать на основе биогазовой установки на курином помете.

Ключевые слова: *теплоснабжение, биоустановка, Республика Крым*

ENERGY DEVELOPMENT STRATEGY OF THE REGION

Grave Olga Valeryevna

Tyumen Industrial University.

Russia, city of Tyumen, 625001, Lunacharsky St., 2.

Student of department of «Industrial power system».

E-mail: zenitovna100112@mail.ru

Antonova Elena Olegovna

Tyumen Industrial University.

Russia, city of Tyumen, 625001, Lunacharsky St., 2.

Ph. D. in Technical Sciences, associate professor of «Industrial power system».

In this article the analysis of the current state of power industry of the Crimea is carried out. On the basis of the carried-out analysis the system of heat supply and GVS of children's recreation camps «Mandarin», «Delfin», «Brigantina» is considered, it is offered to develop system of heat supply and GVS on the basis of biogas installation on chicken dung.

Key words: *heat supply, bioinstallation, Republic of Crimea*

УДК 658.567.1

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВА ДЛЯ ГОРОДА ОМСКА

Шерстобитов Михаил Сергеевич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Старший преподаватель кафедры «Теплоэнергетика», ОмГУПС.

E-mail: miheyomgups@mail.ru

В статье представлена методика расчета теплоты сгорания твердых коммунальных отходов (ТКО) на основании данных морфологического состава. Проведен сравнительный анализ ТКО и низкосортных топлив.

Ключевые слова: *отходы, состав, калорийность, плотность, топливо, сырье, влажность, утилизация.*

USE OF SOLID MUNICIPAL WASTE AS FUEL FOR THE CITY OF OMSK

Sherstobitov Mikhail Sergeyevich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

Senior teacher of the department «Heat power engineering», OSTU.

E-mail: miheyomgups@mail.ru

УДК 697.329:004.942

СОЛНЕЧНЫЙ КОЛЛЕКТОР КАК РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ

Щербинин Кирилл Евгеньевич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Студент группы 36 ж, ОмГУПС.

E-mail: djasfun@gmail.com

В статье рассмотрен способ энергосбережения и энергообеспечения зданий с помощью гибрида солнечного коллектора и фотоэлектрической панели. Его преимущества и недостатки, а также его совместимость с погодными условиями и временами года, стоимость затрат на покупку, установку и обслуживание в течение года.

Ключевые слова: *солнечный коллектор, фотоэлектрическая панель, экология, энергосбережение, энергообеспечение.*

SOLAR COLLECTOR AS SOLUTION OF THE PROBLEM OF POWER SUPPLY

Shcherbinin Kirill Evgenyevich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

The student of group 36 G, OSTU.

E-mail: djasfun@gmail.com

The article considers a method of energy saving and power supply of buildings with the help of a hybrid of a solar collector and a photovoltaic panel. Its advantages and disadvantages, as well as its compatibility with weather conditions and seasons, the cost of the cost of purchase, installation and maintenance during the year.

Key words: *solar collector, photovoltaic panel, ecology, energy saving, energy supply.*

К ВОПРОСУ О ВНЕДРЕНИИ СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ ПОЖАРОТУШЕНИЯ НА ОБЪЕКТАХ И ТРАНСПОРТЕ РЖД

Рассматриваются инновационные подходы возможного внедрения современных средств тушения пожаров на объектах, подвижном составе РЖД, а также грузов, перевозимых железнодорожным транспортом РФ.

Ключевые слова: *безопасность, пожар, возгорание, тушение.*

Гайденко Андрей Николаевич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35

Доцент цикла «ГО и ЧС», ОмГУПС.

Алафьев Михаил Константинович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35

Кандидат исторических наук, доцент, и.о. начальника цикла «ГО и ЧС», ОмГУПС.

INNOVATIVE APPROACHES IN THE CARRIAGE OF DANGEROUS GOODS BY RAIL RUSSIAN FEDERATION

Gaydenko Andrey Nikolaevich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

head cycle «Civil defensive and emergencies», OSTU.

Alafev Mihail Konstantinovich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

Ph.D. in Historical Sciences, head cycle «Civil defensive and emergencies», OSTU.

Consider innovative approaches in the implementation of the transport of dangerous goods by rail of the Russian Federation related to the development and improvement of its transport infrastructure, modernization of rolling stock, the introduction of modern methods of delivery and maintenance of such cargo.

Keywords: *safety, fire, ignition, suppression.*

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ В ЗАПАДНО-СИБИРСКОМ РЕГИОНЕ

Хороших Ольга Владимировна

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

Российская Федерация, 644119, г. Омск, ул. Перелета 20, 48.

Аспирант кафедры «Теплоэнергетика», ОмГУПС.

Телефон: +79835285431

E-mail: kraftenergo@yandex.ru

Стариков Александр Петрович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Теплоэнергетика», ОмГУПС.

Телефон: +7 (3812) 31-06-23

E-mail: StarikovAP@omgups.ru

Громов Андрей Николаевич

Общество с ограниченной ответственностью «КрафтЭнерго»

Российская Федерация, 644122, г. Омск, ул. Волховстроя 20, 85.

Директор ООО «КрафтЭнерго»

Телефон: +7 9831118715

E-mail: gromov_an75@mail.ru

В статье рассмотрена актуальность использования нетрадиционных источников энергии, а именно необходимость использования тепловых насосов грунтовых, как альтернативную возможность повышения энергосбережения и энергоэффективности в регионе. На практическом примере определена эффективность установки на базе теплового насоса грунтового - рассчитано изменение коэффициента преобразования теплового насоса на протяжении отопительного периода.

Ключевые слова: тепловой насос, геотермальное отопление, энергоэффективность, энергосбережение, коэффициент трансформации теплового насоса, грунтовый тепловой насос.

FEATURES OF APPLICATION OF HEAT PUMPS IN WEST-SIBERIAN REGION

Khoroshikh Olga Vladimirovna

Omsk State Transport University (OSTU).

Russian Federation 644119, Omsk, st. 20 Pereleta, 48.
Postgraduates of the department «Heat power engineering», OSTU.
Phone: +79835285431
E-mail: kraftenergo@yandex.ru

Starikov Alexander Petrovich

Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.
Ph. D. in Technical Sciences, associate Professor, head of the department «Heat power engineering», OSTU.
Phone: +7 (3812) 31-06-23
E-mail: StarikovAP@omgups.ru

Gromov Andrei Nikolaevich

Society with limited liability «KraftEnergo».
Russian Federation, 644122, Omsk, st.Volkhovstroia 20, 85.
Director of «KraftEnergo»
Phone: +7 9831118715
E-mail: gromov_an75@mail.ru

The article considers the relevance of the use of alternative energy sources, namely, the need for heat pumps use groundwater, as alternative possibility to increase energy conservation and efficiency in the region. A practical example of the efficiency of the installation based on a heat pump ground - calculated change the conversion factor of the heat pump during the heating period.

Key words: heat pump, geothermal heating, energy efficiency, energy conservation, the transformation ratio of the heat pump, geothermal heat pump.

УДК 629.1

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ ДЛЯ ВЫРАБОТКИ ТЕПЛОВОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Писарев Константин Викторович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).
644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.
Магистрант кафедры «Теплоэнергетика», ОмГУПС.
E-mail: Konstantin.V.Pisarev@gmail.com

В статье представлен анализ существующей системы утилизации твердых коммунальных отходов на опыте различных стран, более подробно рассмотрены методы утилизации путем сжигания и использования полученной энергии на выработку тепла и электроэнергии.

Ключевые слова: *твердые коммунальные отходы, утилизация, выработка энергии, пиролиз.*

UTILIZATION OF SOLID MUNICIPAL WASTE FOR GENERATING HEAT AND ELECTRIC ENERGY

Pisarev Konstantin Victorovich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

Magister of the department «Heat power engineering», OSTU.

E-mail: Konstantin.V.Pisarev@gmail.com

The article presents an analysis of the existing system for utilization of solid municipal waste on the experience in different countries, more detailed consideration is given to methods of utilization by burning and use of the received energy for generation of heat and electricity.

Key words: *solid municipal waste, utilization, generation of heat and electricity, pyrolyz.*

УДК 620.92

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ВЭУ ОТ ФУНКЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ ВЕТРА И ТЕХНИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕТРОУСТАНОВКИ

Жарикова Татьяна Михайловна

Тюменский Индустриальный Университет.

Россия, г. Тюмень, 625001, ул. Луначарского, 2.

Студентка кафедры «Промышленной теплоэнергетики».

E-mail: kpt@tgasu.ru

Антонова Елена Олеговна

Тюменский Индустриальный Университет.

Россия, г. Тюмень, 625001, ул. Луначарского, 2.

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Промышленной теплоэнергетики».

В данной работе рассматривается описание метеорологических параметров, определение функции распределения скорости ветра в г. Тюмени.

Ключевые слова: *скорость ветра, функция распределения*

THE ESTIMATION OF THE ELECTRICAL ENERGY OF WIND TURBINES ON THE DISTRIBUTION FUNCTION OF THE WIND SPEED AND THE TECHNICAL CHARACTERISTICS OF WIND TURBINES

Zharikova Tatyana Mihaylovna

Tyumen Industrial University.

Russia, city of Tyumen, 625001, Lunacharsky St., 2.

Student of department of «Industrial power system».

E-mail: kpt@tgasu.ru

Antonova Elena Olegovna

Tyumen Industrial University.

Russia, city of Tyumen, 625001, Lunacharsky St., 2.

Ph. D. in Technical Sciences, associate professor of «Industrial power system».

This paper deals with the description of meteorological parameters, determination of distribution function of wind speed in Tyumen.

Key words: *The wind speed distribution function.*

УДК 620.92

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОТОПИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ЖИЛОГО ДОМА С ПОМОЩЬЮ СОЛНЕЧНОГО ОТОПЛЕНИЯ

Крайнов Василий Васильевич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Теплоэнергетика», ОмГУПС.

Тел.: (3812) 31-06-23

Попова Вероника Владимировна

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Студент группы 35Т, ОмГУПС.

E-mail: Verona_9393@mail.ru

Бокова Марина Олеговна

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Студент группы 35Т, ОмГУПС.

E-mail: ivan_ovina@mail.ru

Авторы предлагают вариант повышения энергоэффективности газового отопления при помощи солнечных коллекторов. Рассмотрены преимущества и недостатки комбинированной системы отопления жилого индивидуального дома для Омской области. Произведён расчётный анализ для жилого дома Омской области

Ключевые слова: *комбинированная система теплоснабжения, солнечные коллекторы, автономная газификация.*

IMPROVING THE EFFICIENCY OF HEATING HOILING SYSTEMS IN A RESIDENTIAL HOUSE WITH SOLAR HEATING

Krainov Vasily Vasilievich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

Ph. D. in Technical Sciences, assistant professor of the department «Heat power engineering», OSTU.

Phone: (3812) 31-06-23

Popova Veronika Vladimirovna

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

Student of group 35T, OSTU.

E-mail: Verona_9393@mail.ru

Bokova Marina Olegovna

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

Student of group 35T, OSTU.

E-mail: ivan_ovina@mail.ru

The authors propose a variant of increasing the energy efficiency of gas heating using solar collectors. Advantages and disadvantages of the combined heating system of Omsk region cottage house are considered. The design analysis for Omsk region cottage is made.

Keywords: combined heat supply system, solar collectors, autonomous gasification.

УДК 620.92

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Попов Александр Николаевич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Магистрант группы 35Т

E-mail: monilioz@mail.ru

Бакенова Айнура Мухтаровна

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Магистрант группы 35Т

E-mail: bakenovarestore@mail.ru

В статье описаны методы энергосбережения на промышленных предприятиях с использованием тепловых насосов. Приведены схемы внедрения теплонасосных установок в производственный цикл. Описан принцип работы этих установок.

Ключевые слова: тепловой насос, низкопотенциальное тепло, компрессор, хладагент, сушка, испаритель, конденсатор

EXPLOITATION OF HEAT PUMPS IN INDUSTRY

Popov Alexander Nikolaevich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

The student of group 35T

E-mail: monilioz@mail.ru

Bakenova Ainura Mukhtarovna

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

The student of group 35T

E-mail: bakenovarestore@mail.ru

The article describes energy saving methods in industrial enterprises using heat pumps. The schemes of heat pumps introduction into the production cycle are given. The principle of operation of these installations is described.

Keywords: heat pump, low-potential heat, compressor, refrigerant, drying, evaporator, condenser

УДК 62–665.9

ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ ТОРФА НА АВТОТЕРМИЧНОСТЬ ПРОТЕКАНИЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО ПИРОЛИЗА

Вислогузов Руслан Ахмедович

Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ).

Россия, г. Томск, 634050, пр. Ленина, 30, ауд. 113

Студент кафедры «Парогенераторостроения и парогенераторных установок», ТПУ.

E-mail: TabakaevRB@tpu.ru

Астафьев Александр Владимирович

Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ).

Россия, г. Томск, 634050, пр. Ленина, 30, ауд. 113

студент кафедры «Парогенераторостроения и парогенераторных установок», ТПУ.

Актуальность работы обеспечивается необходимостью вовлечения возобновляемых источников энергии в энергетику. В результате исследований показана возможность автотермической переработки биомассы посредством низкотемпературного пиролиза, для этого влажность торфа №2 не должна превышать 12,7%.

Ключевые слова: *Возобновляемая энергетика, биомасса, низкотемпературный пиролиз, автотермичность.*

THE EFFECT OF PEAT MOISTURE TO AUTOTHERMICITY OF LOW-TEMPERATURE PYROLYSIS

Visloguzov Ruslan Akhmedovich

Tomsk Polytechnic University (TPU).

Russia, city of Tomsk, 634050, Lenin Ave., 30, lecture hall 113

Student of department «Parogeneratorostroyeniya and steam generating installations», TPU.

E-mail: TabakaevRB@tpu.ru

Astafyev Alexander Vladimirovich

Tomsk Polytechnic University (TPU).

Russia, kitchen garden Tomsk, 634050, Lenin Ave., 30, lecture hall 113

Student of department «Parogeneratorostroyeniya and steam generating installations», TPU

The work relevance is ensured by necessity of renewable energy sources involving in power engineering. The result of researches is possibility of autothermal biomass recycling by low-temperature pyrolysis, for this moisture of peat №2 should not exceed 12.7%.

Keywords: *Renewable energy, biomass, low-temperature pyrolysis, autothermal.*

УДК 620.93

АВТОНОМНАЯ ГАЗИФИКАЦИЯ МАЛЫХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

Попова Вероника Владимировна

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.
Студент группы 35Т, ОмГУПС.
E-mail: Verona_9393@mail.ru

Автор рассматривает автономную газификацию, положительные и отрицательные стороны такой газификации, схемы подключения автономной газификации. Так же рассматривается состав системы такого газоснабжения.

Ключевые слова: автономная газификация, газоснабжение, магистральный газопровод, малые населенные пункты, коттеджные поселки.

AUTONOMOUS GASIFICATION OF SMALL INSOLVED PUNKTOVS

Popova Veronika Vladimirovna

Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.
Student of group 35Т, OSTU.
E-mail: Verona_9393@mail.ru

The author considers autonomous gasification, positive and negative sides of such gasification, schemes of connection of autonomous gasification. The composition of the gas supply system is also considered.

Keywords: autonomous gasification, gas supply, main gas pipeline, small settlements, cottage settlements.

УДК 662.767.2 : 66.074.3

БИОГАЗ: СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБОГАЩЕНИЯ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ЗА РУБЕЖОМ

Приходько Светлана Валерьевна

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).
644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Теплоэнергетика», ОмГУПС.
Тел.: (3812) 31-06-23

Статья содержит обзорную информацию, касающуюся современных технологий очистки и обогащения биогаза. Биогаз состоит в основном из метана и двуокиси углерода, и его можно использовать в качестве топлива на стационарных источниках тепловой энергии и для автотранспорта. На сегодняшний день в мире существует целый ряд технологий, предназначенных для его обогащения и очистки, они постоянно совершенствуются. Параллельно идет разработка новых технологий.

Ключевые слова: *биогаз, свалочный газ, очистка биогаза, обогащение биогаза, метан, диоксид углерода*

BIOGAS: MODERN TECHNOLOGIES FOR UPGRADING APPLIED ABROAD

Prikhodko Svetlana Valerievna

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

Ph. D. in Technical Sciences, assistant professor of the department «Heat power engineering», OSTU.

Phone: (3812) 31-06-23

The article contains the review of modern technologies intended for biogas cleaning and upgrading. Biogas consists mainly of methane and carbon dioxide and it can be utilized as a renewable energy source in combined heat and power plants, or as a vehicle fuel. Several techniques for biogas upgrading and cleaning exist today and they are continually being improved. In parallel, new techniques are under development.

Keywords: *biogas, landfill gas, cleaning of biogas, upgrading of biogas, methane, carbon dioxide.*

УДК 662. 767. 2

БИОГАЗ КАК ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ

Бакенова Айнура Мухтаровна

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Студент группы 35Т, ОмГУПС.

E-mail: bakenovarestore@mail.ru

Попов Александр Николаевич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Студент группы 35Т, ОмГУПС.

E-mail: monilioz@mail.ru

В нашей статье приведены методики оценки эмиссии и состава биогаза на полигонах ТБО. Также проанализированы методы измерения потоков метана. Предложен вывод для реализации одной из методик.

Ключевые слова: *биогаз, полигон, эмиссия, метан, разложение, отходы.*

BIOGAS AS A SOURCE OF ENERGY

Bakenova Ainura Mukhtarovna

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

The student of group 35T, OSTU.

E-mail: bakenovarestore@mail.ru

Popov Alexander Nikolaevich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

The student of group 35T, OSTU.

E-mail: monilioz@mail.ru

In our article we describe methodologies for estimate emission and composition of biogas at ranges municipal solid waste. These methods for measuring methane fluxes are also analyzed. A conclusion is proposed to implement one of the methods.

Keywords: biogas, range, emission, methane, breaking down, waste.

УДК 697.341

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОТЕЛЬНОЙ НА ВОЗОБНОВЛЯЕМОМ ТОПЛИВЕ (БЫТОВОМ МУСОРЕ) В СИСТЕМЕ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДА ОМСКА

Глухов Сергей Витальевич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Теплоэнергетика», ОмГУПС

E-mail: svgluk@mail.ru

Глухова Мария Викторовна

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Теплоэнергетика», ОмГУПС

Тел.: (3812) 31-06-23

Статья посвящена определению перспектив использования термической утилизации

бытовых отходов в коммунальной теплоэнергетике крупного города. Был произведен анализ технико-экономических показателей существующих котельных в г. Омске, а также перспективной тепловой нагрузки вблизи данных теплоисточников. В результате, с учетом экологических нормативов были определены потенциальные площадки размещения перспективных котельных на возобновляемом топливе и их установленная мощность. На основе обзора технологий преобразования бытового мусора в энергетическое топливо в статье рассчитана стоимость топлива с учетом транспортной доставки, произведен анализ капитальных затрат и себестоимости отпуска тепла. С учетом положения о расчете тарифа по методу «альтернативной котельной» была рассчитана себестоимость отпуска тепла и окупаемость проекта. Сделаны выводы о возможности использования данных технологий в коммунальной энергетике.

Ключевые слова: *теплоснабжение, возобновляемое топливо, RDF-топливо, тарифы на тепловую энергию, себестоимость, экология.*

ABOUT POSSIBILITY TO USE OF BOILER PLANT WITH RENEWABLE FUEL (HOUSEHOLD RUBBISH) IN THE SYSTEM OF DISTRICT HEATING OF OMSK.

Sergey V. Glukhov

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

Ph. D. in Technical Sciences, assistant professor of the department «Heat power engineering», OSTU.

E-mail: svgluk@mail.ru

Maria V. Glukhova

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation..

Ph. D. in Technical Sciences, assistant professor of the department «Heat power engineering», OSTU.

Phone: (3812) 31-06-23

This article about identification of prospects of use thermal utilization of household rubbish in municipal thermal energy of large city. The analysis of technical and economic indicators has been made by alive boiler plants in Omsk and by perspective thermal loading. In result has been defined the places of building new thermal plants with renewable fuel and its installed capacity. On the basis of the review of technologies of transformation of household garbage to power fuel in article the fuel cost taking into account transport delivery is calculated, the analysis of capital expenditure and prime cost of heat is made. Taking into account the provision on calculation of a tariff by a method of «an alternative thermal plant» prime cost of a holiday of heat and payback of the project was calculated. Conclusions are drawn on a possibility of use these technologies in municipal thermal energy.

Key words: *district heating, renewable fuel, RDF-fuel, thermal energy prices, cost price, ecology.*

УДК 378.046

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ КОТЛОАГРЕГАТА ПРИ ЕГО ПЕРЕВОДЕ НА ГАЗОВОЕ ТОПЛИВО

Козак Оксана Александровна

Северный Арктический Федеральный Университет им. Ломоносова.

163000 г. Архангельск, Набережная Северной Двины, 17.

Кандидат технических наук, доцент кафедры теплоэнергетики и теплотехники.

E-mail: oksana_kozak_2012@mail.ru.

Применение газового топлива в ряде промышленных предприятий способствует повышению производительности промышленных агрегатов. Природный газ обладает высокой теплотой сгорания и относительно низкой стоимостью, для его хранения нет необходимости в складских помещениях. Имея высокие экологические показатели по сравнению с другими видами топлива, природный газ все более востребован, особенно в связи с все возрастающими экологическими требованиями, которые тесно переплетаются с вопросами по энергосбережению, и ставят своей задачей снижение вредных выбросов. Проведен анализ работы котлоагрегата на двух видах топлива. Расчет валовых выбросов показал, что при работе котлоагрегата на газе наблюдается отсутствие ряда выбросов, в том числе - твердых включений, монооксида углерода и диоксида серы, а так же уменьшение выбросов бенз(а)пирена и оксидов азота.

Ключевые слова: *природный газ, валовые выбросы, энергосбережение, котлоагрегат, экологические показатели, мазут, теплота сгорания, производительность.*

IMPROVING BOILER UNIT PERFORMANCE UPON ITS CONVERSION TO GAS FUEL

Kozak Oksana Aleksandrovna

Northern Arctic Federal University of Lomonosov.

163000 Arkhangelsk, Northern Dvina embankment, 17.

Ph. D. in Technical Sciences, the associate professor of power system and heating engineers.

E-mail: oksana_kozak_2012@mail.ru

Using gas fuel at a number of industrial enterprises contributes to improved performance of industrial units. Natural gas has high calorific value, relatively low price, and does not require a warehouse to store it. Due to its excellent environmental performance as compared with other fuel types, natural gas is becoming increasingly in-demand, particularly with the ever-more stringent

requirements of environmental protection that are closely intertwined with energy conservation issues and aimed at the emission reduction. Boiler unit performance was analyzed with the use of two fuel types. Calculation of gross emissions in the gas-fired boiler unit revealed lack of some emission components – including solid particles, carbon monoxide and sulfur dioxide – along with reduced emissions of benzo(a)pyrene and nitric oxide.

Key words: *natural gas, gross emissions, energy conservation, boiler unit, environmental performance, mazut, calorific value, production efficiency.*

УДК 620.952

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АСПЕКТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОТОПЛИВА

Неупокоев Павел Николаевич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Студент группы 35Т, ОмГУПС.

E-mail: neupokoew.pavel@gmail.com

Проблема поиска альтернативных источников получения тепловой энергии в связи с истощением традиционных ресурсов становится все более актуальна. В РФ имеется большой потенциал местного топлива в виде отходов деревообрабатывающей промышленности и сельского хозяйства. В статье рассматриваются перспективы использования местных топлив на отопительных котельных.

Ключевые слова: *биотопливо, древесная щепка, пеллеты.*

TECHNO-ECONOMIC ASPECT OF THE USE OF BIOFUELS

Pavel N. Neupokoev

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

The student of group 35T, OSTU.

E-mail: neupokoew.pavel@gmail.com

The problem of searching for alternative sources of heat energy in connection with the depletion of traditional resources is becoming more urgent. In the Russian Federation there is a great potential of local fuel in the form of woodworking industry waste and agriculture. The article discusses the prospects for using local fuels in heating boilers.

Keywords: *biofuel, wood chips, pellets.*

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ЭКОНОМИЧНОСТИ
УТЕПЛЕНИЯ ТЕПЛОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ НАРУЖНЫХ
ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ СТЕН ЗДАНИЙ**

Петров Павел Владимирович

Общество с ограниченной ответственностью «Сибирская проектная компания»

644099, г. Омск, улица Карла Либкнехта, 35

Заместитель директора по техническим вопросам, ООО «СПК»

E-mail: ppv55@mail.ru

Резанов Евгений Михайлович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Теплоэнергетика», ОмГУПС

E-mail: rezanov1@mail.ru

Тесля Марина Олеговна

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

Студент группы 35Т, ОмГУПС.

E-mail: ms_tysik2@mail.ru

Рассмотрен вопрос, связанный с повышением эффективности утепления ограждающих конструкций зданий. Разработан алгоритм и программное обеспечение для определения оптимальной толщины тепловой изоляции наружных ограждающих конструкций стен зданий. Проведены численные исследования теплового режима здания. Полученные результаты подтверждают повышение эффективности теплового режима здания, снижается расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию, уменьшаются капитальные затраты.

Ключевые слова: *отопление, толщина, ограждающие конструкции, эффективность, затраты.*

**IMPROVEMENT OF EFFICIENCY AND ECONOMY
OF THERMAL INSULATION OF OUTSIDE OBSERVING
STRUCTURES OF BUILDING BUILDINGS**

Petrov Pavel Vladimirovich

Limited Liability Company Siberian Design Company

644099, Omsk, Karla Libknekhta street, 35
Deputy Director for Technical Issues, ООО «SPK»
E-mail: ppv55@mail.ru

Rezanov Evgeniy Mikhailovich

Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

Ph. D. in Technical Sciences, assistant professor of the department «Heat power engineering», OSTU.

E-mail: rezanove1@mail.ru

Teslya Marina Olegovna

Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

The student of group 35T, OSTU.

E-mail: ms_tysik2@mail.ru

Considered issues related to improving the efficiency of insulation of enclosing structures of buildings. An algorithm and software for determining the optimal thickness of thermal insulation of external enclosing structures of the walls of buildings is developed. Numerical studies of the thermal regime of the building have been carried out. The obtained results confirm the increase in the efficiency of the thermal regime of the building, the consumption of heat energy for heating and ventilation is reduced, and capital costs are reduced.

Key words: *heating, thickness, enclosing structures, efficiency, costs.*

УДК 658.26: [681.5:004]

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В
ОТОПИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ МНОГОЭТАЖНЫХ ЖИЛЫХ ДОМОВ ПРИ
АВТОМАТИЧЕСКОМ РЕГУЛИРОВАНИИ ПОДАЧИ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ**

Латыпов Фарит Рафгатович

Уфимский государственный авиационный технический университет (УГАТУ)
450008, г. Уфа, ул. К. Маркса, д. 12, корп.2

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Авиационная теплотехника и теплоэнергетика», УГАТУ

E-mail: vei10@ya.ru

Бикбулатов Ахат Мидхатович

Уфимский государственный авиационный технический университет (УГАТУ)

450008, г. Уфа, ул. К. Маркса, д. 12, корп.2

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Авиационная теплотехника и теплоэнергетика», УГАТУ

E-mail: vei10@ya.ru

Каримов Руслан Альтафович

Уфимский государственный авиационный технический университет (УГАТУ)

450008, г. Уфа, ул. К. Маркса, д. 12, корп.2

Старший преподаватель кафедры «Авиационная теплотехника и теплоэнергетика», УГАТУ

E-mail: ruslan_mailbox@mail.ru

Рассматриваются теоретические подходы к описанию динамики регулирования водяных систем отопления многоэтажных зданий, использующих 4-х канальный ПИ-регулятор при централизованной подводке теплоносителя. В интегрированной среде MATLAB синтезирована соответствующая модельная схема. Варьируя настроечными параметрами модельной схемы, выявляются оптимальные энергосберегающие режимы для подобного класса энергосистем, с учетом архитектурно-строительных и теплофизических параметров зданий. Итоговые результаты представлены в критериальном безразмерном виде.

Ключевые слова: водяные системы отопления многоэтажных зданий, 4-х канальный ПИ-регулятор, модельная схема в MATLAB.

**MATHEMATICAL MODELING OF PROCESSES IN HEATING SYSTEMS ENERGY
HIGH-RISE RESIDENTIAL BUILDINGS IN AUTOMATIC CONTROL MEDIUM FLOW**

Latypov Farit Rafgatovich

Ufa state aviation technical university (UGATU)

450008, Ufa, K. Marx St., 12, building 2

Candidate of Technical Sciences, associate professor "Aviation heating engineer and power system", UGATU

E-mail: vei10@ya.ru

Bikbulatov Akhat Midkhatovich

Ufa state aviation technical university (UGATU)

450008, Ufa, K. Marx St., 12, building 2

Candidate of Technical Sciences, associate professor "Aviation heating engineer and power system", UGATU

E-mail: vei10@ya.ru

Karimov Ruslan Altafovich

Ufa state aviation technical university (UGATU)

450008, Ufa, K. Marx St., 12, building 2

Senior teacher of "Aviation Heating Engineer and Power System" department of UGATU

E-mail: ruslan_mailbox@mail.ru

Theoretical approaches to the description of the dynamics of water heating systems regulation in multi-storey buildings that use a 4-channel PI controller with the centralized feed pipe of the coolant is considered. The appropriate model scheme is synthesized in the integrated environment MATLAB. By varying the tuning parameters of the model scheme, the optimal power saving modes for this class of power systems taking into account the architectural, constructive and thermophysical parameters of buildings are revealed. Final results are presented in criterial dimensionless form.

Key words: water heating systems in multi-storey buildings, a 4-channel PI controller, model scheme in MATHLAB.

Научное издание

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГЕТИКИ И
СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Материалы всероссийской научно-технической конференции
с международным участием

Ответственный за выпуск Е. В. Пономарев

* * *

Печатается в авторской редакции

Подписано в печать 19.05.2017. Формат $60 \times 84^{1/16}$.
Плоская печать. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 21,7. Уч.-изд. л. 24,1.
Тираж 300 экз. Заказ .

* *

Типография ОмГУПСа

*

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35